



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

**ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA DETERMINAR LA  
CALIDAD DE LOS TRABAJOS DE REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE DOMO DE UNA  
CALDERA ACUOTUBULAR IMPLEMENTADO POR LA EMPRESA PSMI S. A.**

**Elmer Otoniel Castro Castro**

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, agosto de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA DETERMINAR LA  
CALIDAD DE LOS TRABAJOS DE REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE DOMO DE UNA  
CALDERA ACUOTUBULAR IMPLEMENTADO POR LA EMPRESA PSMI S. A.

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ELMER OTONIEL CASTRO CASTRO**

ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vásquez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE LOS TRABAJOS DE REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE DOMO DE UNA CALDERA ACUOTUBULAR IMPLEMENTADO POR LA EMPRESA PSMI S. A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 14 de marzo de 2014.



**Elmer Otoniel Castro Castro**



Guatemala, 28 de mayo de 2015  
REF.EPS.DOC.421.05.15.

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Rodríguez Serrano.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Elmer Otoniel Castro Castro** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 200714317, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE LOS TRABAJOS DE REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE DOMO DE UNA CALDERA ACUOTUBULAR IMPLEMENTADO POR LA EMPRESA PSMI S.A..**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Edwin Estuardo Sarrías Zepe  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Mecánica



c.c. Archivo  
EESZ/ra



Guatemala, 28 de mayo de 2015  
REF.EPS.D.284.05.15

Ing. Julio César Campos Paiz  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Campos Paiz.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE LOS TRABAJOS DE REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE DOMO DE UNA CALDERA ACUOTUBULAR IMPLEMENTADO POR LA EMPRESA PSMI S.A.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Elmer Otoniel Castro Castro** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano  
Director Unidad de EPS  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
DIRECCIÓN  
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS  
Facultad de Ingeniería

SJRS/ra



**USAC**  
TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.247.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Supervisor, con la aprobación del Director del Departamento de EPS del trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE LOS TRABAJOS DE REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE DOMO DE UNA CALDERA ACUOTUBULAR IMPLEMENTADO POR LA EMPRESA PSMI S.A.** del Estudiante **Elmer Otoniel Castro Castro**, procede a la autorización del mismo.

**"Id y Enseñad a Todos"**

  
Ing. Roberto Guzmán Ortiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, agosto de 2015



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE LOS TRABAJOS DE REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE DOMO DE UNA CALDERA ACUOTUBULAR IMPLEMENTADO POR LA EMPRESA PSMI S.A.**, presentado por el estudiante universitario: **Elmer Otoniel Castro Castro**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, agosto de 2015

/cc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme la sabiduría, fortaleza y serenidad para culminar esta meta, que su presencia continúe guiando mis pasos.
<b>Mis padres</b>	Elmer Castro y Juana Castro (q. e. p. d.), por su incondicional apoyo en los momentos más difíciles, que esta meta cumplida retribuya en mínima parte el infinito amor con el que me han arropado, porque sin ustedes no lo hubiera logrado.
<b>Mi esposa</b>	Por todo el apoyo y amor que me brinda todos los días.
<b>Mi hijo</b>	Para que este triunfo alcanzado sea un ejemplo para su vida y así demostrarle mi amor y cariño.
<b>Mis hermanas</b>	Por el cariño brindado.
<b>Mi familia</b>	Por estar siempre presentes en mi vida.
<b>Mis asesores</b>	Ing. Edwin Sarceño e Ing. Enrique Gálvez, por su excelente apoyo y orientación en mi trabajo de graduación.

**Mis amigos**

Fernando Segura, Josué Aguilar, Luis Vicente,  
Juan Rozales, eternamente agradecido por la  
amistad brindada.

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por mi formación profesional y ética, que Dios  
permita eternidad al alma mater.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. ANTECEDENTES GENERALES .....	1
1.1. La empresa.....	1
1.1.1. Descripción .....	1
1.1.2. Ubicación .....	2
1.1.3. Misión .....	3
1.1.4. Visión .....	3
1.1.5. Política de calidad.....	3
1.1.6. Valores .....	3
1.2. Planteamiento del problema .....	4
1.3. Justificación del trabajo .....	5
1.4. Alcance de trabajo .....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Caldera .....	7
2.2. Funcionamiento .....	7
2.3. Conceptos de mantenimiento .....	8
2.4. Historial de mantenimiento de los equipos .....	9
2.5. Fallas en tubos y domos .....	10

2.5.1.	Fallas por corrosión (lado agua).....	11
2.5.2.	Fallas por corrosión externa (lado fuego).....	14
2.5.3.	Fallas por fluencia lenta y ruptura por tensión.....	16
2.6.	Soldadura.....	18
2.6.1.	Definición.....	18
2.6.2.	Procesos de soldadura.....	19
2.6.2.1.	Soldadura por arco de tungsteno con gas (GTAW) .....	20
2.6.2.2.	Personal calificado .....	24
2.6.3.	Soldadura por arco eléctrico.....	24
2.6.3.1.	Material de aporte .....	25
2.6.3.2.	Clasificación .....	26
2.6.3.3.	Electrodos para aceros al carbono.....	26
2.6.3.4.	Clasificación de electrodos para aceros de baja aleación .....	29
2.6.3.5.	Clasificación de electrodos para aceros inoxidables.....	31
2.7.	Composición química de la tubería de caldera .....	33
2.8.	Localización de fallas .....	34
2.8.1.	Métodos para la detección de fallas .....	34
2.8.1.1.	Ultrasonido .....	34
2.8.2.	Inspección visual .....	37
2.8.3.	Método por líquidos penetrantes .....	38
2.8.4.	Partículas magnéticas .....	41
3.	AHORRO ENERGÉTICO.....	45
3.1.	Situación de consumo de energía eléctrica de la empresa .....	45
3.1.1.	Equipos y circuitos con pérdidas de energía eléctrica .....	45

3.2.	Reducción de consumo de energía eléctrica.....	46
4.	ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS APLICADOS EN DOMO DE CALDERAS.....	49
4.1.	Expansión de tubería de domo de caldera .....	49
4.1.1.	Limpieza en domo .....	50
4.1.2.	Identificación de la tubería .....	51
4.1.3.	Medición geométrica de la tubería .....	53
4.1.4.	Expansión de tubería .....	55
4.2.	Procedimiento de soldadura .....	56
4.3.1.	Diseño de la junta .....	57
4.3.2.	Metal base .....	58
4.3.3.	Material de aporte .....	59
4.3.4.	Posición .....	60
4.3.5.	Precalentamiento y tratamiento entre pases .....	60
4.3.6.	Tratamiento térmico post-soldadura .....	61
4.3.7.	Gases .....	61
4.3.8.	Técnica .....	62
4.3.9.	Variables.....	63
4.4.	Calificación del procedimiento de soldadura (PQR) .....	63
4.5.	Calificación del soldador .....	63
4.6.	Prueba hidrostática.....	65
4.6.1.	Procedimiento para la prueba hidrostática .....	66
4.6.2.	Inspección de fugas .....	67
4.7.	Desarrollo de la inspección.....	68
5.	MANUAL ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE LOS TRABAJOS DE REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE DOMO DE	

UNA CALDERA ACUOTUBULAR IMPLEMENTADA POR LA EMPRESA PSMI S. A.....	73
5.1. ¿Qué es un inspector de soldadura? .....	73
5.2. Responsabilidad del inspector de soldadura.....	73
5.3. Cuál es el proceso de soldadura TIG (GTAW).....	75
5.7. Defectos en la soldadura y como evitarlos .....	76
5.8.1. Grietas.....	77
5.8.2. Falta de fusión.....	79
5.8.3. Falta de penetración.....	80
5.8.5. Poros .....	81
CONCLUSIONES.....	85
RECOMENDACIONES .....	87
BIBLIOGRAFÍA.....	89
ANEXOS.....	91

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Ubicación de planta en Escuintla .....	2
2.	Penetración cáustica profunda.....	12
3.	Estallido de pared gruesa resultante del daño por hidrógeno .....	13
4.	Picaduras debido al óxido en un tubo de sobrecalentador.....	13
5.	Adelgazamiento de la pared debido a la corrosión por ceniza del combustible .....	15
6.	Daño producido por acción directa de la humedad en combinación con los depósitos sulfurosos .....	16
7.	Daño típico producido por la acción del sobrecalentamiento .....	17
8.	Falla asociada al sobrecalentamiento de corta duración.....	18
9.	Proceso de soldadura GTAW.....	20
10.	Equipo para el proceso TIG .....	21
11.	Pinzas porta-electrodo.....	22
12.	Proceso SMAW .....	25
13.	Imagen que muestra un esquema general del proceso .....	35
14.	Aplicación del método de ultrasonido en domo de caldera .....	36
15.	Aplicación del penetrante .....	39
16.	Identificación de fisura mediante aplicación de revelador .....	40
17.	Principio del método por partículas magnéticas.....	42
18.	Aplicación del método de partículas magnéticas .....	44
19.	Descripción gráfica de separación del domo y tubería.....	49
20.	Desmontaje de accesorios internos de domo .....	51
21.	Identificación de tubería de domo .....	52

22.	Interpretación de plano de ubicación de tuberías .....	52
23.	Medición geométrica de la tubería .....	53
24.	Proceso de toma de datos con micrómetro .....	54
25.	Marcación de tubería en domo .....	55
26.	Aplicación de la expansión en la tubería.....	56
27.	Diseño de junta.....	58
28.	Aplicación de precalentamiento .....	61
29.	Práctica del proceso de calificación del soldador .....	65
30.	Manómetro indicador de presión de prueba .....	66
31.	Inspección con un boroscopio .....	67
32.	Inspección visual de fugas.....	68
33.	Indicación de grieta.....	69
34.	Revelado de fisura por medio de líquidos penetrantes .....	70
35.	Determinación de profundidad de grieta por medio de ultrasonido.....	71
36.	Proceso de soldadura TIG .....	75
37.	Grieta en soldadura .....	79
38.	Falta de fusión en soldadura.....	80
39.	Falta de penetración en material base.....	81

## TABLAS

I.	Mecanismos de fallas comunes en calderas acuatubular .....	11
II.	Metales de aporte normales para unir diversos metales y aleaciones con soldadura .....	26
III.	Tabla interpretativa para el último dígito .....	28
IV.	Porcentaje de aleación en soldadura.....	29
V.	Tipo de corriente y revestimiento del electrodo según la Norma AWS.....	30
VI.	Composición química de la tubería.....	33



VII.	Diámetros de tubería.....	54
VIII.	Especificación del metal base .....	59
IX.	Características del metal de aporte.....	59
X.	Especificación de la posición de soldadura.....	60
XI.	Especificación de calentamiento del material base.....	60
XII.	Porcentaje de la compasión del gas.....	62
XIII.	Descripción de la técnica de soldadura.....	62



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$\emptyset$	Diámetro
$H_2$	Dihidrógeno
$y$	Distancia vertical
$\sigma$	Esfuerzo
F	Fuerza
°C	Grado Celsius
°F	Grados Fahrenheit
gr	Gramo
Kg	Kilogramo
Kg/m <sup>3</sup>	Kilogramo por metro cúbico
MPa	Mega pascales
MHZ	Megahercio
Ksi	Miles de libras por pulgada cuadrada
mm	Milímetros
ml	Mililitros
%	Porcentaje
"	Pulgada
R	Reacción
Te	Tiempo estándar



## **GLOSARIO**

<b>API</b>	American Petroleum Institute o Instituto Americano del Petróleo, es la asociación comercial para la industria de petróleo y gas natural más grande de EE.UU.
<b>ASME</b>	American Society of Mechanical Engineers o Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, es la asociación de profesionales de la ingeniería que ha generado un código de diseño, construcción, inspección y pruebas para diversos equipos como: calderas, recipientes a presión, materiales, entre otros.
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials o Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, es una de las organizaciones internacionales de desarrollo de normas más grandes del mundo.
<b>AWWA</b>	American Water Works Association o Asociación Americana del Trabajo del Agua, es una organización internacional sin fines de lucro, asociación científica y educativa fundada para mejorar la calidad del agua y la oferta.

**Elasticidad**

Es la propiedad mecánica de ciertos materiales de sufrir deformaciones reversibles cuando se encuentran sujetos a la acción de fuerzas exteriores y de recuperar la forma original si estas fuerzas se eliminan.

**END**

Ensayo no Destructivos, es cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales.

**Esfuerzo**

Es la oposición que presenta un cuerpo sobre el que está actuando una fuerza determinada, la cual tiende a estirarlo (tracción), aplastarlo (compresión), doblarlo (flexión), cortarlo (corte) o retorcerlo (torsión).

**GTAW**

Gas Tungsten Arc Welding o soldadura por arco de tungsteno de gas que utiliza un proceso no consumible de tungsteno electrodo para producir la soldadura, conocida también como TIG.

**pH**

Potencial hidrógeno es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución.

## **RESUMEN**

Las calderas de vapor son equipos en los que se eleva la temperatura del agua para producir vapor.

Durante su funcionamiento, la caldera está sometida interiormente a la presión de equilibrio del agua y del vapor a la temperatura alcanzada. Los otros elementos de la caldera recorridos por el agua o el vapor, a partir de la bomba de alimentación los economizadores y recalentadores, están sometidos casi a la misma presión, pero la temperatura del fluido puede ser inferior o superior a la de ebullición; buena parte del vapor producido se puede perder a través de las fugas existentes en los sistemas de distribución, incluyendo tuberías, válvulas y purgadores, también por fugas ocasionadas por alguna erosión en la tubería de pared, sobrecalentadores o cualquier sistema dentro de la caldera. Las pérdidas incluyen, la energía perdida, el reemplazo del equipo dañado y el uso excesivo de horas-hombre. Es frecuente descubrir pérdida en sistemas de generación de vapor por valor de miles de dólares al año.

Los efectos adversos que una fuga o desperfecto de la caldera pueden generar sobre la operación eficiente de una planta, la seguridad de las personas, el medio ambiente, pérdida de material o el daño a la operación de una empresa, está en función del tiempo y la capacidad de respuesta para su control, mitigando y corrección. Cuanto mayor sea el tiempo de respuesta, mayor será los daños generados por la emergencia; por el contrario, cuanto más efectiva y organizada sea la capacidad de respuesta ante una emergencia, mayor será el potencial para reducir la severidad del daño.

Este estudio especial tiene como objetivo proporcionar a la empresa PSMI S. A. un manual que contenga de forma ordenada todos los procedimientos de Ensayos No Destructivos que se puedan aplicar a las reparaciones o mantenimientos que se le pueda aplicar a una caldera acuatubular. Para identificar las técnicas de inspección que se suelen emplear para examinar calderas, se utilizará la Código ASME “Bolier and Pressure Vessel Code - Section V Nondestructive Examinations”.

Al realizar todos los ensayos pertinentes y demás técnicas de inspección, se obtendrán todos los datos necesarios para realizar el análisis y determinar que procede si se encuentra algún desperfecto. Si se detecta alguna falla se tendrá que realizar una reparación que por lo regular conlleva a la aplicación de soldadura y eso requiere tener un procedimiento de soldadura para dichas reparaciones y calificar a los soldadores, la Sección I ASME (Welding and Brezing Qualifications), da los lineamientos a seguir para realizar el Procedimiento de soldadura (WPS siglas en inglés) y la Calificación del Procedimiento de Soldadura (PQR siglas en inglés).



## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseño de un manual de procedimientos para el mantenimiento y reparación de domos de calderas, basándose en las normas ASME.

### **Específicos**

1. Establecer los procedimientos adecuados para la reparación de las conexiones de tubería que llevan a los domos, basándose en las secciones I, V y IX del código ASME.
2. Al realizar la medición geométrica de cada uno de los tubos que se conectan a los domos, determinar si los mismos se encuentran en la tolerancia establecida por el diseño.
3. Describir un procedimiento para la expansión de tubería que conectan al domo de caldera.
4. Aplicar ensayos no destructivos según Norma ASME Sección V.
5. Identificar las distintas fallas que se encuentran en la soldadura.



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, en una planta de producción de energía, el mantenimiento de las calderas es de vital importancia para evitar que los paros no programados afecten directamente la efectividad de las actividades de producción. De esta forma es necesario dentro de la planta, un seguimiento riguroso de los planes de mantenimiento preventivo o predictivo para la maquinaria y equipo.

Tomando en cuenta lo anterior, la empresa PSMI S. A. localizada en la 4ta. calle lote núm. 4 sección “D” colonia Hunapú, Escuintla, Guatemala, requiere de un estudio para capacitar a los futuros trabajadores, sobre cuáles son los procesos para reparar o dar mantenimiento a las conexiones de tuberías que se dan en domo de una caldera acuatubular. Dicho mantenimiento consta de una medición geométrica de los tubos para detectar si la expansión de los mismos está en la tolerancia permitida por el diseño, verificación de las expansiones y reexpansiones, una inspección visual del estado de las soldaduras que presente el domo, como por ejemplo las soldaduras de sello en la tubería si existieran. Existen varios métodos para inspeccionar las uniones y piezas soldadas, estos se conocen como ensayos no destructivos (END), y es el método que, sin dañar la pieza evaluada, posibilita la determinación precisa del estado y calidad de los cordones de soldaduras.

Con la información obtenida, se procederá a la creación de una base de datos que muestre a detalle el estado de los elementos contenidos en los domos, los requerimientos de mantenimiento. Se creará un historial de fallas y pronóstico de tiempo necesario para la planificación del mantenimiento

preventivo. De lograrse el objetivo principal se habrá dado el primer paso para crear un documento para el mantenimiento, que cubra la información más relevante sobre los aspectos a evaluar durante la inspección y mantenimiento de los domos, de una planta generadora de vapor.

## **1. ANTECEDENTES GENERALES**

### **1.1. La empresa**

Unidad económico-social, integrada por elementos humanos, materiales y técnicos, que tiene el objetivo de obtener utilidades a través de su participación en el mercado de bienes y servicios. Para esto, hace uso de los factores productivos.

#### **1.1.1. Descripción**

Proyectos, Servicios y Montajes Industriales S. A. (PSMI, S. A.) fue fundada en 1989, por el Sr. Álvaro Ixpatá de Paz, posteriormente, en el 2000, la dirección de la empresa se heredó a sus hijos, los ingenieros Álvaro y Mario Ixpatá Ordóñez. Es una empresa dedicada a trabajos en metal mecánica, soldadura industrial especializada y montajes en general.

A través de los años, PSMI, S. A. ha tenido a bien desarrollar proyectos en diversas ramas de la ingeniería, tales como: fabricación de tanques de almacenamiento de hidrocarburos, fabricación y montaje de tuberías de alta y baja presión, fabricación y montaje de estructuras metálicas industriales, reparación de calderas piro tubulares, entre otros.

En la actualidad, los servicios ofrecidos se han diversificado, incursionando en el campo de ensayos no destructivos, incluyendo dentro de estos: ultrasonido industrial, ensayo de partículas magnéticas, ensayo de líquidos penetrantes y medición de espesores.

### 1.1.2. Ubicación

PSMI, S. A. cuenta con una planta de producción en el departamento de Escuintla. Está ubicado en la 1a. avenida lote 4, sección D, colonia Hunapú, donde también se encuentran ubicadas sus oficinas administrativas, adicionalmente, cuenta con oficinas y bodegas móviles, puesto que, dependiendo de la naturaleza del proyecto a desarrollar, es necesario establecer un campamento temporal en cada lugar.

Figura 1. **Ubicación de planta en Escuintla**



Fuente: Google Maps, todos los derechos reservados. Consulta: 2 de julio de 2013.

### **1.1.3. Misión**

“Crear soluciones y satisfacer necesidades de nuestros clientes, utilizando las herramientas de ingeniería y empleando recurso humano altamente profesional para brindar confiabilidad en los servicios y productos”.

### **1.1.4. Visión**

“Consolidarnos como empresa líder en desarrollo de proyectos de ingeniería a nivel industrial en toda Guatemala y Centroamérica”.

### **1.1.5. Política de calidad**

“Fabricar productos y prestar servicios apegados a los estándares internacionales de calidad, buscando la mejora continua a través de la satisfacción de nuestros clientes.”

PSMI, S. A. se caracterizó desde sus inicios por apegarse a normativas internacionales (ASME, API 650, API 1104, ASTM, AWWA) para la ejecución de los proyectos que ha desarrollado.

### **1.1.6. Valores**

Los valores que PSMI, S. A. ha fomentado en todos sus colaboradores son:

- Respeto a las personas
- Respeto al medio ambiente
- Responsabilidad

- Integridad
- Honestidad
- Confiabilidad
- Servicio y satisfacción del cliente
- Calidad en todo lo que se hace
- Mejora continua
- Innovación constante
- Respeto a las leyes y normas vigentes
- Respeto a los contratos de los que se es parte

## **1.2. Planteamiento del problema**

PSMI, S. A. es una empresa que cuenta con 24 años de actividad en el mercado guatemalteco, tiempo que ha realizado distintos trabajos en mantenimiento en calderas y para no quedarse rezagada en la materia de mantenimiento y reparación de dichos equipos, se requiere estar a la vanguardia de equipos y contar con un departamento de control de calidad para que le dé la asesoría técnica para realizar las reparaciones y documentación para fines de garantía de trabajo. Se han tenido dificultades al querer realizar mantenimiento específico por no contar con un formato para realizarse los trabajos en algún domo de caldera, es necesario como primer paso tener una base de datos actualizada de las reparaciones que se han realizado en diferentes domos de calderas, para si en un futuro se tenga que realizar un mantenimiento cuenten con el historial de dicha reparación, o de ser necesario contar con un procedimiento y la forma de realizar alguna reparación similar y seguir garantizando el trabajo realizado.



### **1.3. Justificación del trabajo**

Observando que en el mercado guatemalteco existen gran cantidad de empresas que generan sus propios suministros básicos, como son: electricidad, vapor para calentar comida, calefacción, entre otros., para ello cuentan con calderas. En la costa sur existen una gran cantidad de empresas que utilizan dichos equipos. Teniendo en cuenta lo importante que son para las empresas, es necesario darles un buen mantenimiento para que su funcionamiento sea óptimo y que todos los paros por mantenimiento sean planificados y no por emergencia.

### **1.4. Alcance de trabajo**

El presente estudio pretende crear un manual de inspección para el mantenimiento, para que se puedan aplicar tareas de mantenimiento e inspección de domos de caldera.

Se implementará un formato de control para las expansiones de las tuberías de los domos, con la finalidad de que si estos se encuentran en la tolerancia establecida por el fabricante, queden registradas, así como las tuberías que hayan sido rechazadas quedarán registradas para ser reexpandidas y nuevamente ser verificadas, para poder garantizar que han llegado a estar en las tolerancias requeridas.

Se realizará una inspección visual a las soldaduras que se hayan aplicado en reparaciones anteriores a la tubería, que se encuentren conectadas al domo de la caldera si es que se tuviera.



## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Caldera**

Es un recipiente metálico, cerrado, destinado a producir vapor o calentar agua, mediante la acción del calor a una temperatura superior al del ambiente y presión mayor que la atmósfera.<sup>1</sup>

### **2.2. Funcionamiento**

Funcionan mediante la transferencia de calor, producido generalmente al quemarse un combustible, el que se le entrega al agua contenida o que circula dentro de un recipiente metálico.

En toda caldera se distinguen dos zonas importantes:

- Zona de liberación de calor u hogar o cámara de combustión: es el lugar donde se quema el combustible. Puede ser interior o exterior con respecto al recipiente metálico.
  - Interior

El hogar se encuentra dentro del recipiente metálico o rodeado de paredes refrigeradas por agua.

---

<sup>1</sup> Definición según American Society of Mechanical Engineers.

- Exterior

Hogar construido fuera del recipiente metálico.

Está parcialmente rodeado o sin paredes refrigeradas por agua. La transferencia de calor en esta zona se realiza principalmente por radiación (llama-agua).

- Zona de tubos

Es la zona donde los productos de la combustión (gases o humos) transfieren calor al agua, principalmente por convección (gases-agua). Está construida por tubos dentro de los cuales pueden circular los humos o el agua.

### **2.3. Conceptos de mantenimiento**

Mantenimiento es el cumplimiento de todos los trabajos necesarios para establecer y mantener el equipo de producción de modo que cumpla los requisitos normales del proceso<sup>2</sup>.

“Cualesquiera que sean las responsabilidades asignadas al servicio de mantenimiento, es fundamental para el buen funcionamiento de la empresa que estas estén perfectamente definidas y sus límites de acción y autoridad claramente establecidos. Esto implica evitar que determinadas actuaciones queden mal definidas, en lo que suele llamar “terreno de nadie”, o por el

---

<sup>2</sup> GÓMEZ DE LEÓN, Félix Cesáreo. en su libro titulado *Tecnología del mantenimiento Industrial*. p. 89.

contrario, que exista superposición de responsabilidades, lo que podría ocasionar conflictos de autoridad”<sup>3</sup>.

#### **2.4. Historial de mantenimiento de los equipos**

El historial del equipo es un documento en el que se registra información acerca de todo el trabajo realizado, contiene información acerca de todas las reparaciones realizadas, el tiempo muerto, el costo de las reparaciones y las especificaciones del mantenimiento planeado. Es necesario registrar lo siguiente:

- Especificaciones y ubicación del equipo.
- Inspecciones, reparaciones, servicio y ajustes realizados, y las descomposturas y fallas con sus causas y las acciones correctivas emprendidas.
- Trabajo realizado en el equipo, componentes reparados o reemplazados, condiciones de desgaste o rotura, erosión, corrosión, entre otras.
- Mediciones o lecturas tomadas, tolerancia, resultados de pruebas e inspecciones.
- Hora de la falla y tiempo consumido en llevar a cabo las reparaciones.

Toda esta información servirá para que el planificador, pueda llevar el control de mantenimiento de cada equipo y así poder llevar un costo exacto de

---

<sup>3</sup> GÓMEZ DE LEÓN, Félix Cesáreo. en su libro titulado *Tecnología del mantenimiento Industrial*. p. 90.

inversión en cada mantenimiento que se le realice y como se pueda ir depreciando a lo largo de su funcionamiento<sup>4</sup>.

## **2.5. Fallas en tubos y domos**

Los tubos de las calderas pueden experimentar distintas formas de fallas, típicamente estos daños pueden ser atribuidos a mecanismos de deterioro tanto internos como externos.

En muchos casos, la fuga no es de agua sino de vapor, que es el que se transporta a una elevada presión y se produce en las partes más delgadas de la pared de la tubería.

Los daños externos tienen que ver con las formas de transferencia de calor del fuego hacia el agua en el interior de los tubos. Un desbalance en el flujo de calor provoca una ruptura súbita de los tubos. Esta es una falla muy seria, porque en la caldera de vapor puede causar un inmediato aumento en la erosión de tubos adyacentes y provocar escapes de vapor en los lados de las paredes del horno, el sobrecalentamiento de otros tubos pueden cuasar la pérdida de la circulación en la caldera y dañar otros componentes del sistema, lo que resulta en una pérdida de fluido de trabajo.

En la tabla 1 se indica los mecanismos de deterioro más comunes que suelen presentarse en los tubos de calderas acuatubulares y seguidamente se describen cada uno de ellos.

---

<sup>4</sup> WILEY SALIH O, Duffuaa. *Sistema de mantenimiento planeación y control*. p. 67.

Tabla I. **Mecanismos de fallas comunes en calderas acuatubular**

Ubicación	Mecanismo de falla
Fallas por corrosión interna (lado agua)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosión cáustica.</li> <li>• Daños por hidrógeno.</li> <li>• Corrosión por oxígeno.</li> <li>• Agrietamiento por corrosión bajo esfuerzo.</li> </ul>
Fallas por corrosión externa (lado fuego)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosión por ceniza del combustible.</li> <li>• Corrosión en el punto de rocío durante los períodos de inactividad.</li> </ul>
Fallas por fluencia lenta ( <i>creep</i> ) y ruptura por tensión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobrecalentamiento de larga duración.</li> <li>• Sobrecalentamiento de corta duración.</li> </ul>

Fuente: NALCO. *Guía para el análisis de fallas en caldera*. p. 23.

### 2.5.1. Fallas por corrosión (lado agua)

La corrosión de tubos y domos es bastante dependiente del agua y los químicos aplicados a esta dentro de la caldera. Algunos de los tipos más comunes de corrosión del lado de agua incluye corrosión cáustica, daños por hidrógeno, picaduras por oxígeno o corrosión localizada y corrosión por tensión. Un importante factor en el grado de corrosión del lado de agua es la cantidad de producto de corrosión depositado. Los depósitos disminuyen la transferencia de calor y consecuentemente el sobrecalentamiento local, el cual causa una concentración de contaminantes y corrosivos. Dependiendo de cuales contaminantes están presentes en el agua de alimentación durante un período de desequilibrio químico, diferentes localizaciones de depósito, velocidad y efectos pueden ser experimentados.

La corrosión cáustica se produce como consecuencia de un depósito de productos corrosivos, en los que el hidróxido de sodio puede concentrarse hasta llegar a elevarlos niveles de pH. Si se tienen niveles de pH muy altas, la capa de óxido que a menudo actúa como capa protectora se vuelve soluble ocasionando una corrosión rápida.

Figura 2. **Penetración cáustica profunda**



Fuente: NALCO. *Guía para el análisis de fallas en caldera*. p. 67.

Si la caldera es operada con agua que tiene bajo pH se pueden dar daños por hidrógeno. Cualquier factor que ocasione que el pH del agua sea menor a 7 puede causar este tipo de daño. El daño por hidrógeno es resultado directo de las reacciones electroquímicas de corrosión en las que se libera hidrógeno en forma atómica, el cual puede reaccionar con los carburos de hierro en las fronteras de los granos para producir metano. Al no poder difundirse ni el hidrógeno ni el metano por el acero, estos gases se acumulan en las fronteras de los granos. Llegará un momento en el que las presiones internas ocasionan la separación del metal en las fronteras.



**Figura 3. Estallido de pared gruesa resultante del daño por hidrógeno**



Fuente: NALCO. *Guía para el análisis de fallas en caldera*. p. 69.

A menudo los tubos también pueden fallar por corrosión, debido a picaduras localizadas como resultado del ataque debido al oxígeno sobre el lado interno de los tubos de la caldera. Esto suele darse como consecuencia de un inadecuado control de oxígeno del agua de alimentación de las calderas. Aunque no es común en calderas en operación, el ataque por oxígeno es un problema que se encuentra muchas veces en las calderas en períodos de inactividad. Todo el sistema en si es susceptible, pero el sitio más común de ataque son los tubos del sobrecalentador.

**Figura 4. Picaduras debido al óxido en un tubo de sobrecalentador**



Fuente: NALCO. *Guía para el análisis de fallas en caldera*. p. 69.

### **2.5.2. Fallas por corrosión externa (lado fuego)**

Los constituyentes del combustible y las temperaturas del metal son factores importantes en el aumento de la corrosión en el lado de fuego. La corrosión en el lado de fuego puede ser clasificada como cualquier ataque a baja temperatura o a alta temperatura, generado por la mezcla entre la ceniza y el combustible.

Este tipo de corrosión puede ocurrir en sitios como el lugar en donde fluyen los gases de combustión en el economizador y en los tubos precalentadores de aire. La severidad de esta corrosión depende directamente de la cantidad de los óxidos de azufre o ácidos en el quemador de combustible y de la temperatura de los gases de combustión en el medio en el que están siendo quemados.

Cuando los óxidos de azufre están presentes en los gases de combustión, la corrosión tiende a ser severa si los gases bajan la temperatura de condensación. La temperatura del gas en los economizadores y precalentadores debe mantenerse arriba de 325 °F (163 °C) para prevenir condensación de líquido corrosivo. La corrosión por ceniza del combustible es un fenómeno en fase líquida y a elevada temperatura que por lo general ocurre en donde las temperaturas del metal se encuentran en el rango de 1 100 a 1 500 °F (593 a 816 °C).

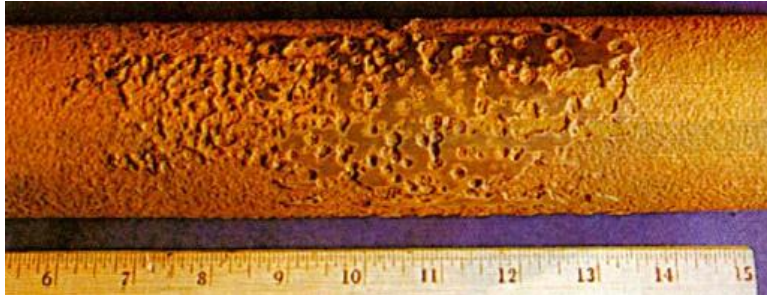
Figura 5. **Adelgazamiento de la pared debido a la corrosión por ceniza del combustible**



Fuente: NALCO. *Guía para el análisis de fallas en caldera*. p. 70.

Cuando la caldera se encuentra inactiva, se puede generar corrosión en el punto de rocío, debido a que algunas zonas se cubren con depósitos sulfurosos formadores de ácidos. Conforme se enfría la caldera, la temperatura de su superficie externa puede caer por debajo del punto de rocío, permitiendo que se forme humedad sobre las superficies de los tubos. La humedad en combinación con los depósitos sulfurosos puede formar un electrolito de bajo pH que puede generar elevados niveles de corrosión. En la figura se ilustra un tubo que ha sido corroído por la acción directa de la ceniza, la cual ha llegado a su punto de rocío.

**Figura 6. Daño producido por acción directa de la humedad en combinación con los depósitos sulfurosos**



Fuente: NALCO. *Guía para el análisis de fallas en caldera*. p. 70.

### **2.5.3. Fallas por fluencia lenta y ruptura por tensión**

Una de las causas más serias de deterioro en las calderas es el sobrecalentamiento de los tubos. El sobrecalentamiento en los tubos y en otras partes sometidas a presión puede resultar en oxidación, corrosión acelerada o ruptura debida a tensión. Si bien el sobrecalentamiento puede ocurrir durante la operación normal de la caldera, más a menudo resulta de las operaciones anormales de la misma, incluyendo pérdida de flujo refrigerante o excesiva temperatura de los gases de combustión.

Un aumento en la flama o desigual alimentación del fuego en los quemadores puede causar un choque de la flama con los tubos, con el consecuente sobrecalentamiento y la consecuente falla del tubo. Los resultados pueden ser oxidación del metal, deformación de las partes sometidas a presión, y ruptura de las partes, permitiendo escapar al vapor y al agua.

Cuando la temperatura del metal sobrepasa los límites de diseño durante días, semanas, meses o más tiempo se tiene un sobrecalentamiento de larga duración. Este tipo de daño es la principal causa de fallas en calderas, más cualquier otro mecanismo.

Dado que el acero pierde mucha resistencia mecánica a temperaturas elevadas, las probabilidades de una rotura causada por la presión interna normal aumentan a medida que se eleva la temperatura.

Figura 7. **Daño típico producido por la acción del sobrecalentamiento**

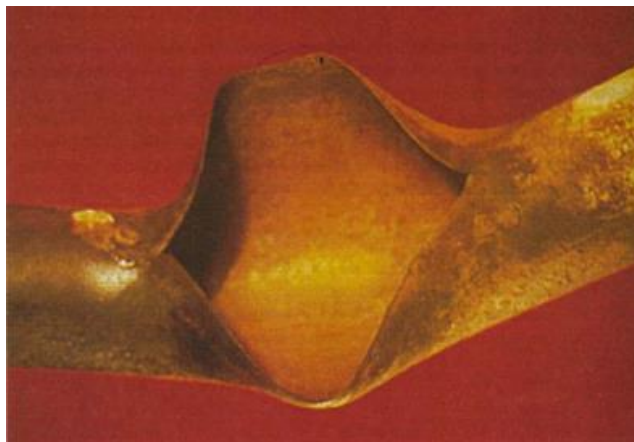


Fuente: NALCO. *Guía para el análisis de fallas en caldera*. p. 71.

De manera similar, el sobrecalentamiento de corta duración ocurre cuando la temperatura del tubo se eleva por encima de los límites de diseño durante un breve período. En todos los casos, las temperaturas del metal son al menos de 850 °F (454 °C) y, muchas veces, sobrepasan los 1 350 °F (730 °C). Dependiendo de la temperatura, la falla puede ocurrir en un tiempo muy corto. La falla suele ser causada por un trastorno en la operación de la caldera. Las condiciones que conducen a un sobrecalentamiento de corta duración son el taponamiento parcial o total del tubo y el flujo insuficiente de refrigerante,

debido a condiciones alteradas o una entrada excesiva de calor del lado del hogar, o ambas cosas.

Figura 8. **Falla asociada al sobrecalentamiento de corta duración**



Fuente: NALCO. *Guía para el análisis de fallas en caldera*. p. 71.

## **2.6. Soldadura**

Proceso de fabricación en donde se realiza la unión de de dos o más piezas de material, usualmente logrado a través de la fusión.

### **2.6.1. Definición**

Tanto las uniones soldadas como las remachadas, son un tipo de unión fija entre elementos metálicos. La soldadura puede hacerse sin emplear metal de aportación (ya sea por forja, ya sea por el calentamiento producido por el paso de una corriente eléctrica) entre los elementos a unir, puestos a tope hasta lograr la fusión y soldadura de sus zonas de contacto o bien empleando un metal de aportación (varilla), que se hace fundir mediante el calor de una llama

o el paso de una corriente eléctrica que atraviesa un electrodo formado por el metal de aportación, el cual se funde al saltar el arco entre él y la pieza a soldar depositando el llamado cordón de soldadura.

La principal ventaja del empleo de la soldadura para la construcción de piezas, la unión es prácticamente continua y ofrece una buena característica de resistencia y también de estanqueidad. El término soldadura define una gran cantidad de procedimientos. En su aspecto más amplio significa: unión permanente de metales o aleaciones, mediante la aplicación localizada del calor, ejerciendo o no presión sobre las partes a unir y con o sin adición de un metal de aportación, de manera que el lugar de unión queda como un todo, sólido, homogéneo e igual a las zonas laterales más cercanas al punto de soldar durante todo el proceso o parte de él.

### **2.6.2. Procesos de soldadura**

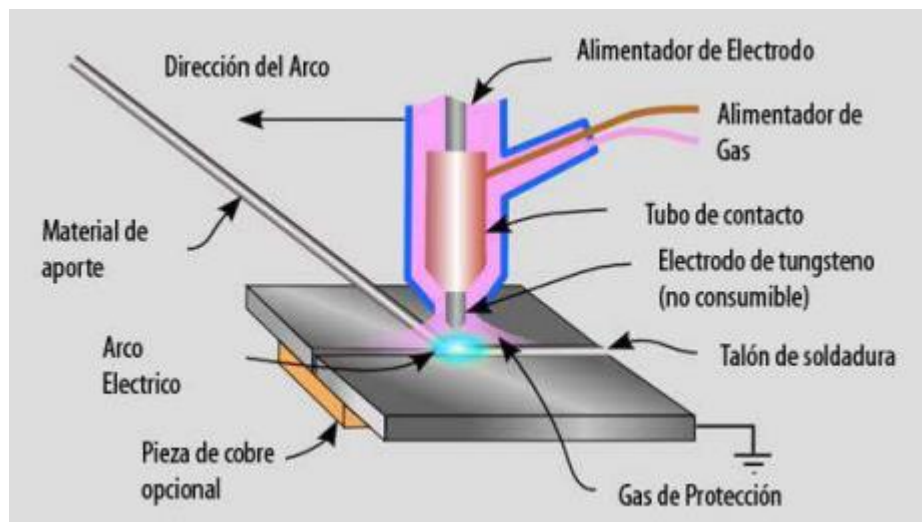
Se distinguen tres tipos: soldadura por fusión, sin fusión y soldadura por presión. La soldadura por fusión consiste en el calentamiento de dos piezas de metal hasta conseguir su unión fundiendo los bordes de ambas. La soldadura por presión se puede realizar en frío o haciendo calentar los metales hasta llegar a una temperatura debajo del punto de fusión y ejerciendo una presión que obligue a las piezas a unirse. La soldadura sin fusión consiste en el calentamiento del material base del material de aporte.

### 2.6.2.1. Soldadura por arco de tungsteno con gas (GTAW)

Es un proceso en que la fusión es producida por el calor de un arco que se establece entre un electrodo de tungsteno no-consumible y la pieza de trabajo. La protección se obtiene de un gas inerte (argón o helio).

La figura 9 muestra el esquema del proceso TIG. Ahí se indica el arco, el electrodo de tungsteno y la envoltura protectora de gas sobre la pieza de trabajo. La varilla desnuda de metal de aporte es aplicada manualmente, introduciéndola en el arco y en el baño de fusión, como en el proceso oxi-acetilénico. Se puede o no emplear metal de aporte.

Figura 9. **Proceso de soldadura GTAW**



Fuente: RIESCO, Germán. *Manual de soldadura*. p. 35.

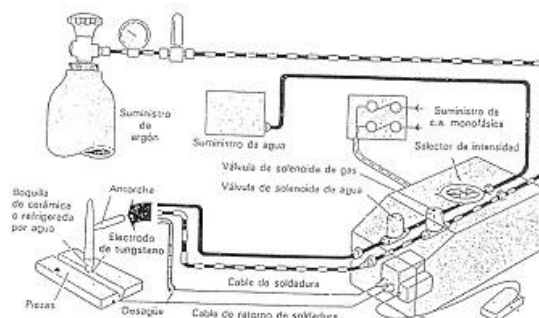
Las características sobresalientes de la soldadura GTAW son:



- Excelente calidad de la soldadura en casi todos los metales y aleaciones empleados por la industria.
- Prácticamente no se requiere ninguna limpieza posterior.
- Arco y baño de fusión son claramente visibles para el soldador.
- No hay metal de aporte que atraviese el arco, de modo que no se producen salpicaduras.
- La soldadura es posible en todas las posiciones.
- No se produce escoria que podría quedarse atrapada en la soldadura.

El equipo básico empleado en este proceso consiste en una fuente de energía de corriente constante, alterna (CA) o directa (CD), una antorcha con electrodo de tungsteno incluido, suministro de gas de protección (el cual incluye regulador presión y medidor de flujo) y material de aporte cuando es requerido.

Figura 10. **Equipo para el proceso TIG**



Fuente: GTAW. *Manual del soldador*. p. 89.

La pinza termina formando una tobera por donde sale el gas, sobresaliendo por su centro de electrodo.

El proceso GTAW es de aplicación para todo tipo de materiales y en soldaduras, debido a la gran calidad de los cordones que se obtienen. No obstante, requiere cierta pericia en la fase inicial de encendido del arco, debido a la posibilidad que existe que durante esta fase el extremo del electrodo toque la pieza. Si esto ocurre puede originarse la contaminación del baño con restos del electrodo que pueden fundirse y quedar atrapados en el cordón de soldadura en forma de inclusiones.

Para espesores de piezas a soldar superiores a los 6-8 mm. este procedimiento no resulta económico.

Figura 11. **Pinzas porta-electrodo**



Fuente: GÓMEZ, Reyna. *Inspección de soldadura*. p. 94.

A continuación se describen los principales gases empleados en la soldadura GTAW.

- Argón (Ar)

Este gas ofrece buena estabilidad del arco y facilidad de encendido. Además ofrece una baja conductividad térmica, lo que favorece a la concentración de calor en la parte central del arco, originándose por ello una penetración muy acusada en el centro del cordón

- Helio (He)

Es necesario aplicar mayor tensión en el arco, consiguiéndose una penetración menor y cordones más anchos. Por otro lado, su uso exige emplear mayor caudal de gas que si se empleara el argón.

- Mezcla de argón-helio

Empleando la mezcla de ambos gases se obtienen características intermedias. No obstante, solo se suele emplear para el soldeo de cobre, dado que esta mezcla de gases contribuye a la fisuración en frío del acero.

- Mezcla de argón-hidrógeno

Su uso aumenta el poder de penetración de la soldadura. Se restringe su uso para soldar aceros inoxidable, dado que aumenta la posibilidad de la fisuración en frío para estos aceros.

### **2.6.2.2. Personal calificado**

Un soldador de primera es un trabajador técnico altamente especializado cuya función principal, consiste en controlar y asegurar efectivamente la calidad de los trabajos de fabricación, construcción y montaje de equipo, estructuras e instalaciones en las que intervienen operaciones de soldadura.

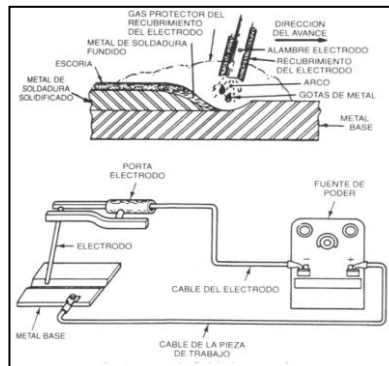
El propósito fundamental de un soldador certificado es garantizar el trabajo realizado, es el de realizar las ensambladuras soldadas que cumplan los requisitos de aceptación de un código o norma especificada o los de algún otro documento. La norma que especifica el proceso de aceptación es Código ASME sección IX artículo 3.

Dicho soldador debe estar familiarizado con los procesos de soldadura y corte, calificación por parte de inspectores de soldadura y manejo de personal relacionado con dicha área, además, debe conocer la metalurgia de los metales, metales base y aporte.

### **2.6.3. Soldadura por arco eléctrico**

La soldadura por arco eléctrico (en inglés SMAW) es un proceso de arco eléctrico que produce la coalescencia de los metales por calentamiento de ellos con un arco eléctrico, entre un electrodo de metal revestido y las piezas de trabajo. El proceso se usa con protección de gas que se origina por la descomposición de la superficie del electrodo (revestimiento), sin la aplicación de presión y con el metal de aporte del electrodo. Algunos nombres comunes para este proceso son “soldadura con varillas” o “soldadura con electrodos de varilla”.

Figura 12. **Proceso SMAW**



Fuente: *Notiacesco*. p. 89.

### 2.6.3.1. **Material de aporte**

Se entiende como material de aporte, todo aquel material que se utiliza para la realización de un cordón de soldadura de buena calidad y donde se distingue, por un lado, el núcleo del electrodo y el revestimiento y por otro lado, la varilla de aporte y los fundentes, estos se usarán en función del tipo de soldadura que se vaya a realizar.

Existe una gran gama de materiales de aporte, cada uno para un trabajo específico, con sus intervalos de temperatura de soldar (tabla II). Es importante la elección del metal de aporte y su composición, para evitar fragilizar la unión, formación de compuestos intermetálicos frágiles en la unión y corrosión de la unión.

A causa de la difusión entre el metal de aporte y el metal de base, las propiedades mecánicas y metalúrgicas de una unión pueden cambiar en el procesamiento posterior, o durante el servicio de un componente sólido.

Tabla II. **Metales de aporte normales para unir diversos metales y aleaciones con soldadura**

Metal base	Metal de aporte	Temperatura de unión (°C)
Aluminio y sus aleaciones	Aluminio-silicio	570 – 620
Aleaciones de magnesio	Magnesio-aluminio	580 – 625
Cobre y sus aleaciones	Cobre- fósforo	700 – 925
Ferrosos y no ferrosos (excepto aluminio y magnesio)	Aleaciones de plata y cobre, cobre-fósforo	620 – 1150

Fuente: *Manufactura, ingeniería y tecnología*. p. 840.

#### **2.6.3.2. Clasificación**

La AWS y ASME son las máximas autoridades en el mundo de la soldadura que dictan las normas de clasificación de los materiales de aporte eléctricos, más reconocidas internacionalmente.

#### **2.6.3.3. Electrodo para aceros al carbono**

La especificación AWS A5.1, que se refiere a los electrodos para soldadura de aceros al carbono, trabajan con la siguiente designación para electrodos revestidos:

## E XYZ - 1 HZR

Donde:

- E** Indica que se trata de un electrodo para soldadura eléctrica manual.
- XX** Son dos dígitos (o tres si se trata de un número de electrodo de cinco dígitos) que designan la mínima resistencia a la tracción, sin tratamiento térmico post soldadura, del metal depositado, en Ksi (Kilo libras/pulgada<sup>2</sup>).
- Y** El tercer dígito indica la posición en la que se puede soldar satisfactoriamente con el electrodo en cuestión.
- Z** El último dígito, que está íntimamente relacionado con el anterior, es indicativo del tipo de corriente eléctrica y polaridad en la que mejor trabaja el electrodo, e identifica a su vez el tipo de revestimiento, el que es calificado según el mayor porcentaje de materia prima contenida en el revestimiento

A continuación se adjunta una tabla interpretativa para el último dígito, según la clasificación AWS de electrodos:

Tabla III. **Tabla interpretativa para el último dígito**

Última cifra	Tipo de corriente	Tipo de Revestimiento	Tipo de Arco	Penetración
E XX10	CCPI Polaridad inversa	Orgánico	Fuerte	Profunda
E XX11	CA o CCPI Polaridad inversa	Orgánico	Fuerte	Profunda
E XX12	CA o CCPD Polaridad directa	Rutilo	Mediano	Mediana
E XX13	CA o CC Ambas polaridades	Rutilo	Suave	Ligera
E XX14	CA o CCPI Polaridad inversa	Rutilo	Suave	Ligera
E XX15	CCPI Polaridad inversa	Bajo hidrógeno	Mediano	Mediana
E XX16	CA o CCPI Polaridad inversa	Bajo hidrógeno	Mediano	Mediana
E XX17	CCPI Polaridad inversa	Bajo hidrógeno	Suave	Mediana
E XX18	CA o CCPI Polaridad inversa	Bajo hidrógeno	Mediano	Mediana

Fuente: ZARAGOZA, Manuel. <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn47.html>.

Consulta: 9 de abril de 2014.

Por otro lado, los códigos para designación que aparecen después del guión son opcionales e indican lo siguiente:

- 1** Designa que el electrodo (E 7016, E 7018 o E 7024) cumple con los requisitos de impacto mejorados E y de ductilidad mejorada en el caso E 7024.
- HZ** Indica que el electrodo cumple con los requisitos de la rueba de hidrógeno difusible para niveles de "Z" de 4,8 o 16 ml de H<sub>2</sub> por 100 gr de metal depositado (solo para electrodos de bajo hidrógeno).
- R** Indica que el electrodo cumple los requisitos de la prueba de absorción de humedad a 80 °F y 80 % de humedad relativa (solo



para electrodos de bajo hidrógeno).

#### **2.6.3.4. Clasificación de electrodos para aceros de baja aleación**

La especificación AWS A5.5. que se aplica a los electrodos para soldadura de aceros de baja aleación utiliza la misma designación de la AWS A5.1, con excepción de los códigos para designación que aparecen después del guión opcionales. En su lugar, utiliza sufijos que constan de una letra o de una letra y un número (por ejemplo A1, B1, B2, C1, G, M, entre otros.), los cuales indican el porcentaje aproximado de aleación en el depósito de soldadura, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla IV. **Porcentaje de aleación en soldadura**

A1	0,5 % Mo
B1	0,5 % Cr, 0,5 % Mo
B2	1,25 % Cr, 0,5 % Mo
B3	2,25 % Cr, 1,0 % Mo
B4	2,0 % Cr, 0,5 % Mo
B5	0,5 % Cr, 1,0 % Mo
C1	2,5 % Ni
C2	3,25 % Ni
C3	1,0 % Ni, 0,35 % Mo, 0,15 % Cr
D1 y D2	0,25-0,45 % Mo, 1,75 % Mn
G	0,5 % mín. Ni, 0,3 % mín. Cr, 0,2 % mín Mo, 0,1 % mín. V, 1,0 % mín Mn

Fuente: *Aleación de soldaduras*. <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn47.html>.

Consulta: 9 de abril de 2014.

Tabla V. **Tipo de corriente y revestimiento del electrodo según la Norma AWS**

<b>Clasificación AWS</b>	<b>Tipo de revestimiento</b>	<b>Posición de soldeo</b>	<b>Corriente eléctrica</b>
E 6010	Alta celulosa, sodio	F, V, OH, H	CC (+)
E 6011	Alta celulosa, potasio	F, V, OH, H	CA o CC(+)
E 6012	Alto titanio, sodio	F, V, OH, H	CA, CC (-)
E 6013	Alto titanio, potasio	F, V, OH, H	CA, CC (+) o CC (-)
E 6020	Alto óxido de hierro	H-Filete	CA, CC (-)
E 6020	Alto óxido de hierro	F	CA, CC (+) o CC (-)
E 7014	Hierro en polvo, titanio	F, V, OH, H	CA, CC (+) o CC (-)
E 7015	Bajo hidrógeno, sodio	F, V, OH, H	CC (+)
E 7016	Bajo hidrógeno, potasio	F, V, OH, H	CA o CC (+)
E 7018	Bajo hidrógeno, potasio, hierro en polvo	F, V, OH, H	CA o CC (+)
E 7018M	Bajo hidrógeno, hierro en polvo	F, V, OH, H	CC (+)
E 7024	Hierro en polvo, titanio	H-Filete, F	CA, CC (+) o CC (-)
E 7027	Alto óxido de hierro, hierro en polvo	H-Filete	CA, CC (-)
E 7027	Alto óxido de hierro, hierro en polvo	F	CA, CC (+) o CC (-)
E 7028	Bajo hidrógeno, potasio	H-Filete, F	CA o CC (+)
E 7028	Hierro en polvo		
E 7048	Bajo hidrógeno, potasio	F, V, OH, H	CA o CC (+)
E 7047	Hierro en polvo	F, V, OH, HV-Descendente	

Fuente: *Aleación de soldaduras*. <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn47.html>.

Consulta: 9 de abril de 2014.

Según las normas AWS las posiciones de soldeo son:

F: plana

H: horizontal

H-Filete: filete horizontal

V-Descendente: vertical descendente

V: vertical

OH: techo o sobrecabeza

#### **2.6.3.5. Clasificación de electrodos para aceros inoxidables**

La especificación AWS A5.4 dicta las normas de clasificación de electrodos para soldar aceros inoxidables. Como los casos anteriores, el sistema de clasificación de estos electrodos también es numérico.

Como muestras de clasificación de estos tipos de electrodos son, por ejemplo: E 308-15 o E 310-16.

Antes de entrar en la explicación del sistema, es conveniente resaltar que los aceros inoxidables sean identificados de acuerdo a lo que indica la AISI. Así por ejemplo, el acero inoxidable AISI 310 corresponde a un acero cuya composición química es del 25 % de Cr y el 20 % de Ni, entre sus elementos principales.

La especificación AWS A5.4, que se refiere a los electrodos para soldadura de aceros inoxidables, trabaja con la siguiente designación para electrodos revestidos:

## E XXX-YZ

Donde:

- E,** Indica que se trata de un electrodo para soldadura por arco.
- XXX,** Indica la numeración que le corresponde a la Clase AISI de acero inoxidable, para el cual está destinado el electrodo.
- Y,** El penúltimo número indica la posición en que puede utilizarse. Así de los ejemplos E 308-15, o E 310-16, el "1" indica que el electrodo es apto para todas las posiciones.
- Z,** El último número de los ejemplos anteriores (5 y 6) señala el tipo de revestimiento, la clase de corriente y la polaridad a utilizarse, en la forma siguiente:

5: significa que el electrodo tiene un revestimiento alcalino que debe utilizarse únicamente con corriente continua y polaridad inversa (el cable del porta-electrodo al polo positivo).

6: significa que el electrodo tiene un revestimiento de titanio, que podrá emplearse con corriente alterna o corriente continua. En caso de utilizarse con corriente continua esta debe ser con polaridad inversa (el cable del porta-electrodo al polo positivo).

En algunos casos se podrá encontrar que en la denominación del electrodo aparece un índice adicional al final con las letras ELC, que significa que el depósito del electrodo tiene un bajo contenido de carbono (E: extra; L: bajo/low; C: carbono).

## 2.7. Composición química de la tubería de caldera

Debido a que los metales puros presentan propiedades mecánicas pobres, rara vez tienen aplicaciones industriales, pero se ha desarrollado una gama muy amplia de aleaciones con propiedades específicas adecuadas para aplicaciones industriales particulares.

En términos generales, las aleaciones son mezclas de un metal base con otro u otros elementos metálicos o no metálicos, mismo que influyen en las propiedades de los metales (dureza, resistencia, tenacidad, entre otros).

Dependiendo de la composición química de un tubo se puede saber el tipo de metal con el que se está trabajando.

La siguiente tabla muestra un rango de porcentaje químicos que componen específicamente a una caldera acuatubular de una generadora eléctrica de Guatemala, esta tabla será de uso, con fines en los próximos capítulos.

Tabla VI. **Composición química de la tubería**

C	Mg	P	S
0,6 – 0,18	0,27 – 0,63	0,035	0,035

Fuente: Código ASME Sección II, SA-178/SA-178M.

Esta composición química indica que estos componentes corresponden a material SA - 178A (ver anexo 2, ficha técnica de la caldera de caldera), los cuales son muy comúnmente empleados como materiales de pared de agua en

generadores de vapor. El Código ASME Sección I, parte PG-9, explica todos los tipos de materiales que pueden ser usados en las calderas (ver anexo 1, Tipos de materiales usados en la caldera).

## **2.8. Localización de fallas**

A continuación, se muestran algunos métodos para detectar y localizar fallas.

### **2.8.1. Métodos para la detección de fallas**

La falla de tuberías en generadores de vapor a base de combustibles fósiles ha sido un problema recurrente a lo largo de varias décadas, independientemente, de su capacidad de generación.

Existen métodos para mitigar este problema de deterioro, tales como: adición de aditivos en el combustible, selección de materiales, diversos sistemas de recubrimiento y lavados químicos de las superficies internas de la tubería.

Existen métodos para localizar una falla en las paredes de los tubos de una caldera, esto puede ser por medio de una inspección visual o por medio de aparatos END.

#### **2.8.1.1. Ultrasonido**

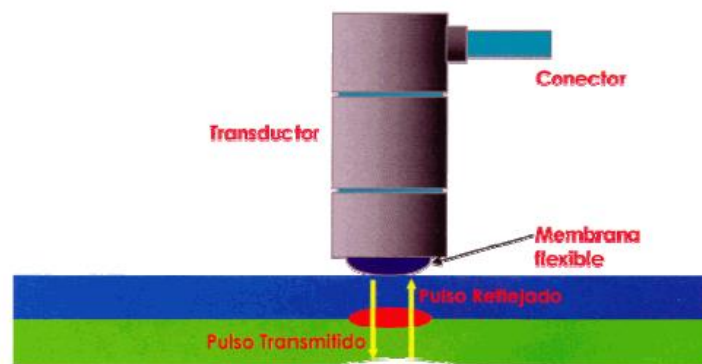
Es un método no destructivo en el cual un haz o un conjunto de ondas de sonido de alta frecuencia son introducidos en los materiales, para la detección de fallas en la superficie o el volumen de una pieza.

Las ondas de sonido viajan a través del material atenuándose progresivamente y son reflejadas al llegar el extremo opuesto. El haz reflejado es mostrado y analizado para definir la presencia y localización de fallas o discontinuidades.

El grado de reflexión depende del estado físico de los materiales que forman la interface. Por ejemplo: las ondas de sonido son reflejadas casi totalmente en las interfaces gas/metál. Por otro lado existe una reflectividad parcial en las interfaces metal/sólido.

Grietas, laminaciones, poros socavados y otras discontinuidades que producen interfaces reflectivas pueden ser detectadas fácilmente, inclusiones y otras partículas extrañas pueden ser también detectadas causando baja reflexión.

Figura 13. **Imagen que muestra un esquema general del proceso**



Fuente: *Gestión pruebas no destructivas*. <http://www.gestiopolis.com/Pruebas-no-destructivas-ultrasonidoGestioPolis.htm>. Consulta: 10 de abril de 2014.

La mayoría de los instrumentos de inspección ultrasónica detectan fallas monitoreando uno más de los siguientes puntos:

- La reflexión del sonido de las interfaces consistentes en los límites del material o en discontinuidades dentro del material mismo.
- El tiempo de tránsito de la onda de sonido durante la prueba dentro de la pieza desde el punto de entrada del transductor hasta el punto de salida.
- La atenuación de las ondas de sonido en la pieza debido a la absorción y dispersión dentro de la pieza.

La mayoría de las inspecciones ultrasónicas son realizadas en frecuencias entre 0,1 y 25 MHz.

Figura 14. **Aplicación del método de ultrasonido en domo de caldera**



Fuente: TESTING, S. A. *Archivos*. <https://www.debian.org/devel/testing.es.html>. Consulta: 10 de abril de 2014.



### **2.8.2. Inspección visual**

La inspección o examen visual es el método no destructivo más ampliamente usado en la industria; casi el 80 % de las discontinuidades, defectos y deficiencias detectables por medio de exámenes no destructivos se detectarán con esta técnica.

La inspección visual se puede usar en una gama amplia de aplicaciones que involucra diferentes tipos de materiales y procesos de fabricación y no solamente los relacionados con la soldadura y otros métodos de unión.

Para muchos objetos a examinarse, la inspección visual puede emplearse para determinar aspectos como: la cantidad y forma, el tamaño, el acabado superficial, la reflectividad, características del color, adecuación, características funcionales y la detección de discontinuidades e imperfecciones superficiales.

La inspección visual se emplea ampliamente en diversos campos y sectores de la industria como: siderurgia, generación de energía eléctrica, aeronáutica, cerámicas, plásticos, entre otros.

Las ventajas de utilizar este método son:

- Puede utilizarse antes, durante y después de la fabricación.
- Mediante la inspección visual se detectan la mayor parte de las discontinuidades.

- El costo de esta inspección es menor que el de cualquier otro método de ensayos no destructivo.
- Posibilita la reducción de costos y tiempos de fabricación.

Dentro de sus limitaciones se tienen:

- Los beneficios que se pueden obtener de la inspección visual dependen de la experiencia y los conocimientos de soldadura e inspección que posea el inspector.
- Para que resulte efectiva, el inspector debe estar familiarizado con los materiales, productos, requisitos, normas, procesos y procedimientos de soldadura involucrados con cada asignación específica de trabajo.
- Este método está limitado a la detección de discontinuidades que afloran a la superficie.

La inspección visual se hace a simple vista y por lo tanto, no requiere de equipo alguno, aunque a veces se hace necesario o conveniente el empleo de espejos, lupas endoscopios y métodos de registro fotográfico o vídeo.

### **2.8.3. Método por líquidos penetrantes**

La inspección por líquidos penetrantes es empleada para detectar e indicar discontinuidades que afloran a la superficie de los materiales examinados.

En términos generales, esta prueba consiste en aplicar un líquido coloreado o fluorescente a la superficie a examinar, el cual penetra en las discontinuidades del material debido al fenómeno de capilaridad. Después de cierto tiempo, se remueve el exceso de penetrante y se aplica un revelador, el cual generalmente es un polvo blanco, que absorbe el líquido que ha penetrado en la discontinuidad y sobre la capa de revelador se delinea el contorno de esta.

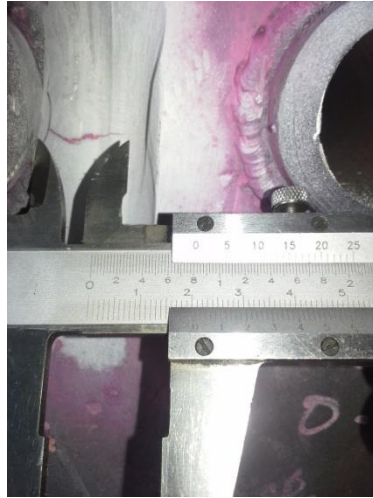
Las aplicaciones de los líquidos penetrantes son amplias y por su gran versatilidad se utilizan desde la inspección de piezas críticas, como son los componentes aeronáuticos, hasta los cerámicos como las vajillas de uso doméstico.

Figura 15. **Aplicación del penetrante**



Fuente: TESTING, S. A. *Archivos*. <https://www.debian.org/devel/testing.es.html>. Consulta: 10 de abril de 2014.

Figura 16. **Identificación de fisura mediante aplicación de revelador**



Fuente: TESTING, S. A. Archivos. <https://www.debian.org/devel/testing.es.html>. Consulta: 10 de abril de 2014.

Las ventajas de utilizar este método son:

- La inspección por líquidos penetrantes es extremadamente sensible a las discontinuidades abiertas a la superficie.
- Son relativamente fáciles de emplear.
- Son económicos.
- Su uso es razonablemente rápido en cuanto a la aplicación, además de que el equipo puede ser portátil.

Dentro de sus limitaciones se tienen:

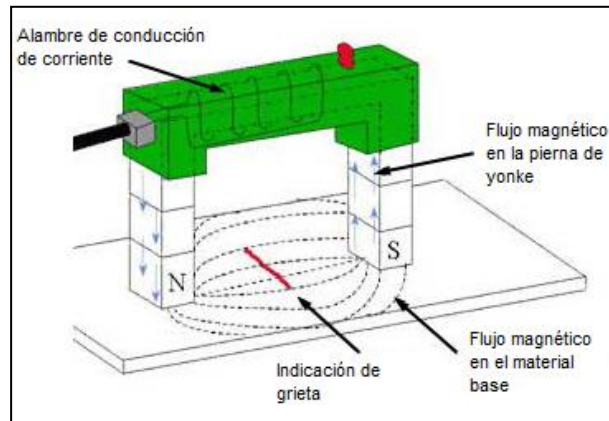
- Solo son detectables a defectos superficiales y en materiales no porosos.
- Se requiere de una buena limpieza previa a la inspección.
- No se proporciona un registro permanente de la prueba no destructiva.
- Una selección incorrecta de la combinación de revelador y penetrante puede ocasionar falta de sensibilidad en el método.

#### **2.8.4. Partículas magnéticas**

La inspección por partículas magnéticas permite detectar discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos. Se selecciona usualmente cuando se requiere una inspección más rápida que con los líquidos penetrantes.

El principio del método es la formación de distorsiones del campo magnético o de los polos cuando se genera o se induce este en un material ferromagnético; es decir, cuando la pieza presenta una zona en la que existen discontinuidades perpendiculares a las líneas del campo magnético, este se deforma o produce polo. Las distorsiones o polos atraen a las partículas magnéticas, que fueron aplicados en forma de polvo o suspensión en la superficie sujeta a inspección y que por acumulación hacen evidentes indicaciones que se observan visualmente de manera directa o bajo luz ultravioleta.

Figura 17. **Principio del método por partículas magnéticas**



Fuente: NDT Resource Center. *Archivo.* <https://www.nde-ed.org/Resources/resources.htm>.

Consulta: 11 de abril de 2014.

Las etapas básicas involucradas en la realización de una inspección por este método son:

- Limpieza: todas las superficies a inspeccionar deben estar limpias y secas. Esto quiere decir que no tienen que contener aceites, grasas, suciedad, arena, óxido u otro material extraño que perjudiquen el ensayo.
- Magnetización de la pieza: este paso puede efectuarse por medio de un imán permanente, con un electroimán o por el paso de una corriente eléctrica a través de la pieza. El tipo de magnetización a emplear depende de: el tipo de pieza, las instalaciones existentes en la empresa, el tipo de discontinuidad y la localización de la misma.
- Corriente de magnetización: se seleccionará en función de la localización probable de las discontinuidades; si se desea detectar solo

discontinuidades superficiales, debe emplearse la corriente alterna, ya que esta proporciona una mayor densidad de flujo en la superficie y por lo tanto mayor sensibilidad para la detección de discontinuidades superficiales; pero es ineficiente para la detección de discontinuidades subsuperficiales. Si lo que se espera es encontrar defectos, es necesario emplear la corriente rectificada de media onda; ya que esta presenta una mayor penetración de flujo en la pieza.

- Forma de magnetizar: la forma de magnetizar es también importante, ya que conforme a las normas comúnmente adoptadas, la magnetización con yugo solo se permite para la detección de discontinuidades superficiales. Los yugos de AC o DC producen campos lineales entre sus polos y por este motivo tiene poca penetración.
- Observación e interpretación de los resultados: la inspección visual de las indicaciones se efectuarán en parte durante la magnetización y continuará el tiempo necesario después de que el medio de examen se haya estabilizado, para explorar toda la zona de ensayo. Las discontinuidades quedarán indicadas por la retención de las partículas magnéticas. Con base en lo anterior, se puede determinar la existencia de discontinuidades, así como su forma, tamaño y localización.

Las ventajas de utilizar este método son:

- Requiere de un menor grado de limpieza
- Generalmente es un método más rápido y económico
- Puede revelar discontinuidades que no afloran a la superficie

Dentro de sus limitaciones se tienen:

- Son aplicables solo en materiales ferromagnéticos
- No tiene gran capacidad de penetración
- Generalmente requiere del empleo de energía eléctrica
- Solo detectan discontinuidades perpendiculares al campo

Figura 18. **Aplicación del método de partículas magnéticas**



Fuente: TESTING, S. A. Archivos. <https://www.debian.org/devel/testing.es.html>. Consulta: 10 de abril de 2014.



### **3. AHORRO ENERGÉTICO**

#### **3.1. Situación de consumo de energía eléctrica de la empresa**

Actualmente la empresa PSML, S. A. realiza diferentes tipos de trabajo, la mayoría de estos necesitan de energía eléctrica en algún punto de sus procesos, por lo que la demanda de energía eléctrica permanece constante, junto a esta demanda constante de los equipos y herramientas de dicha empresa existen algunos factores que aumentan esta demanda, que además de ser una pérdida de energía eléctrica representan una pérdida económica a largo plazo.

##### **3.1.1. Equipos y circuitos con pérdidas de energía eléctrica**

- Máquinas de soldar: el equipo de soldadura es utilizado en todos los procesos de trabajo, no obstante la pérdida de energía eléctrica en este equipo es el mal uso que se les da a la herramienta, dejándola conectada todo el tiempo sin que se esté usando, lo cual aumenta el consumo de energía eléctrica.
- Tomacorrientes eléctricos: se utilizan para la conexión de herramientas de mano como barrenos, pulidoras, máquinas soldadoras, cortadoras, entre otras. algunas de estas por su tiempo de uso presentan rastros de sobrecalentamiento que han debilitado y fatigado los contactos de estos, por lo que actualmente se encuentran en mal estado y producen falsos contactos eléctricos y sobretensiones producidas por estos mismos,

aumentando también de esta forma el consumo de energía eléctrica para la empresa.

- Circuitos de potencia: existen circuitos que utilizan calibres específicos de conductores diseñados para una carga especial, actualmente se dan condiciones que propician una sobrecarga de estos, situación que también influye en el consumo de energía eléctrica.
- Circuitos de iluminación: los circuitos de iluminación son utilizados en partes específicas dentro de la planta y a horas específicas del día, existen diferentes tipos de lámparas de sodio y halógenas, que a pesar de utilizarse eventualmente inciden en el consumo de energía eléctrica.
- Calefacción: los aires acondicionados son uno de los factores de mayor consumo en el área de oficinas por el motivo del mal uso, ya que no se cuenta con un sistema totalmente aislado y el constante abre/cierre de puertas, por ese motivo se mantiene un cien por ciento activo los calefactores.

### **3.2. Reducción de consumo de energía eléctrica**

Existen diferentes circuitos eléctricos y fallas en equipos eléctricos que pueden ser corregidas para disminuir las pérdidas de energía eléctrica y monetaria, las acciones a tomar para la corrección de fallas son las siguientes:

- Apagar las máquinas de soldar: dar una plática para concientizar a los usuarios de maquinaria de soldar, para que en el momento que no se esté usando la herramienta se apague, y en el tiempo de almuerzo desconectar totalmente la maquinaria.

- Cambio de tomacorrientes de trabajo: realizar un cambio de tomacorrientes en mal estado para evitar los falsos contactos eléctricos que eliminan las sobrecargas en los conductores y cortocircuitos producto de los tomacorrientes en mal estado.
- Distribución de cargas en líneas de servicio: la empresa PSMI, S. A. posee varias líneas de distribución según el voltaje requerido para los equipos de trabajo, existen líneas con sobrecarga debido al calibre de cable utilizado que trabaja arriba de su capacidad de carga nominal, por lo que es necesario realizar un balance de líneas y distribuir las cargas utilizadas en las tres fases del servicio de conexión eléctrica.
- Uso de lámparas ahorradoras: una de las grandes ventajas de las lámparas de halógeno y sodio es la intensidad lumínica, cualidad que las bombillas incandescentes no poseen, actualmente se han desarrollado diferentes tipos de sistemas y lámparas ahorradoras, siendo más comunes los tubos o bombillas fluorescentes que si bien su inversión es más alta comparada con las lámparas incandescentes, estas poseen grandes ventajas como el bajo consumo de energía eléctrica y una intensidad lumínica mayor.

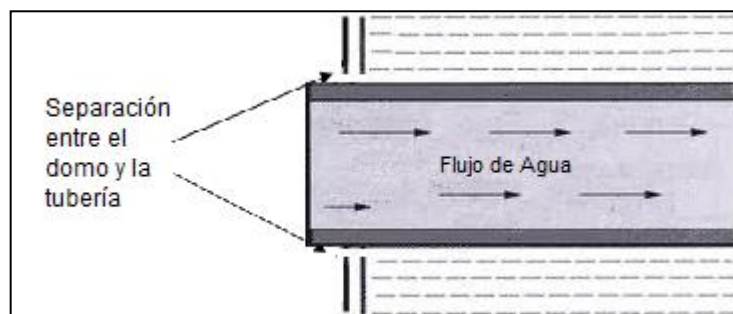


## 4. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS APLICADOS EN DOMO DE CALDERAS

### 4.1. Expansión de tubería de domo de caldera

Los domos de una caldera se conectan con una serie de tubos que llevan el agua al domo, este tipo de caldera requiere una buena separación de agua y vapor en el domo superior, para asegurar una diferencia de densidades correctas entre el agua que baja por los tubos de caída y la mezcla agua/vapor que sube por las superficies de los vaporizadores. Los tubos vaporizadores por la misma razón deben ser lo más verticales posibles. Por las altas temperaturas a las que están sometidos, suelen dilatarse y generan espacios entre el domo y la tubería.

Figura 19. Descripción gráfica de separación del domo y tubería



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Project.

Estas separaciones son realmente pequeñas de aproximadamente 0,021 pulgadas aproximadamente 1/32 pulgadas, pero al estar sometidas a una

presión de 1 000 psi (presión de trabajo de una caldera), se presentan fugas de agua y eso repercute en la eficiencia energética de la caldera.

Para identificar que tubería hay que expandir se tiene que llevar a cabo lo siguiente:

- Limpieza de toda la superficie del domo
- Identificación de filas y columnas de los tubos de agua
- Medición geométrica de la tubería

#### **4.1.1. Limpieza en domo**

Se requiere de una buena limpieza de la superficie donde se va a verificar las dimensiones de las expansiones, para que no se tenga ningún obstáculo y se pueda llevar a cabo en su totalidad.

Esto implica quitar todos los accesorios que contenga el domo con su respectiva identificación, para que al momento de instalarlo no se tenga ningún inconveniente y demora en la entrega del trabajo.

Tener mucha precaución al extraer los pernos, arandelas u objetos pequeños, debido a que pueden caer y la parte inferior del cuerpo del domo contiene tubería por la que pueden ingresar estos objetos, su extracción puede ser difícil, o en el peor de los casos si no se extrae puede generar el taponamiento de algún conducto.

Figura 20. **Desmontaje de accesorios internos de domo**



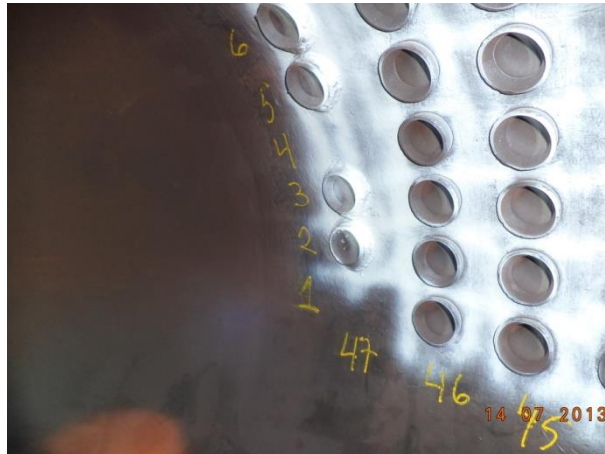
Fuente: archivo PSMI, S. A.

#### **4.1.2. Identificación de la tubería**

La identificación de cada fila y cada columna es importante, para tener un mejor control de los tubos que se tomarán los datos, ya que los domos de las calderas cuentan con una gran cantidad de tubos conectados y es fácil equivocarse al momento de estar tomando las mediciones y por consiguiente dar una mala información al personal de trabajo si no están bien identificados.

Se recomienda tener los frentes de trabajo, en domos superiores y en domos inferiores, a cada uno se les dará un plano para la ubicación correcta de los tubos (ver anexo 3, domo superior de caldera) (ver anexo 4, domo inferior de caldera).

Figura 21. **Identificación de tubería de domo**



Fuente: archivo PSMI, S. A.

Se le explicará al personal cuales son las diferentes medidas que tendrá cada tubo y las cuales se tienen que tomar en cuenta a la hora de realizar su reporte.

Figura 22. **Interpretación de plano de ubicación de tuberías**



Fuente: archivo PSMI, S. A.



#### 4.1.3. Medición geométrica de la tubería

La medición geométrica consiste, en tomar la medida del diámetro interior del tubo con una herramienta de medición precisa y verificar que cuente con la medida requerida por el diseño de la caldera.

Figura 23. Medición geométrica de la tubería



Fuente: archivo PSMI, S. A.

El procedimiento de la medición geométrica de la tubería se puede hacer con distintas herramientas de precisión, en esta práctica se realizó con un micrómetro telescópico y un comparador. El micrómetro telescópico se introduce por la tubería, al momento que las extensiones estén al rostro de la superficie de la tubería se ajusta el trinquete, para que no se mueva las extensiones y así no tomar erróneamente la medida con el micrómetro.

Figura 24. **Proceso de toma de datos con micrómetro**



Fuente: archivo PSMI, S. A.

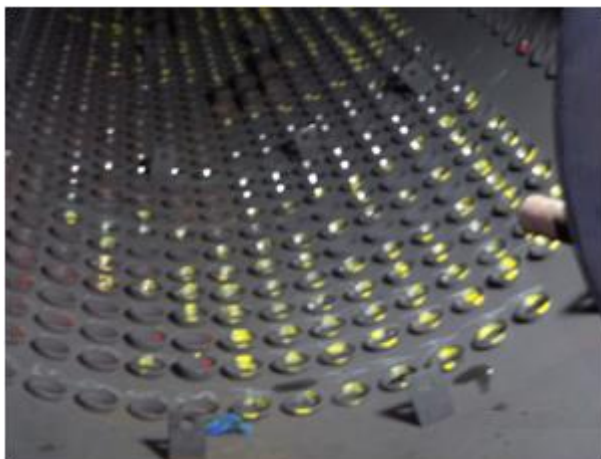
Utilizando un software de cálculo se diseñó una tabla con las medidas de todos los tubos de cada domo (ver anexo 5, tabulación de medidas geométricas de tubería), en el cual aparecen diferentes tipos de colores, el rojo indica que los tubos están sobre expandidos, esto quiere decir, que la expansión fue mayor que la requerida por el diseño. Al dar esta tabla a los trabajadores que tienen a su cargo el trabajo de expansión de los tubos no los tocarán, el color amarillo indica que le falta expandir, por lo tanto se tienen que trabajar hasta llegar a la medida de diseño.

Tabla VII. **Diámetros de tubería**

	$\Phi$ nomina exterior de tubo (milésimas)	Espesor de pared de tubo (milésimas)
Fila 1-11:	2 000,00	220
Fila 12-23:	2 000,00	203
Fila 24:	1 750,00	150

Fuente: archivo PSMI, S. A.

Figura 25. **Marcación de tubería en domo**



Fuente: archivo PSMI, S. A.

La tubería de los domos se marcó físicamente con los colores rojo o amarillo, dependiendo de las medidas que tenga cada tubería, eso es para facilidad de identificación y del trabajo de expansión.

#### **4.1.4. Expansión de tubería**

Es un proceso muy común en el mantenimiento que se realiza a domos de calderas, ya que de esta forma se sella mecánicamente la unión entre los tubos y el cuerpo del domo para evitar que existan fugas.

La reducción de la pared del tubo debe ser de entre el 7 al 8 %, aproximadamente. Si el tubo está agrietándose o los mecanismos muestran desgaste excesivo, se debe verificar la dureza del tubo. Los tubos de acero al carbono deben ser de entre 90 y 120 de dureza Brinell para poder expandirse. Es posible expandir tubos de hasta 150 Brinell. Sin embargo, la descamación y el agrietamiento son más propensos a ocurrir a medida que aumenta la dureza

del tubo. La lubricación abundante es clave durante el proceso de expansión del tubo (ver Anexo 6: Características de expander).

Figura 26. **Aplicación de la expansión en la tubería**



Fuente: archivo TESTING S. A.

El diseño de la caldera proporcionó tres parámetros de mediciones (ver anexo 15: Diseño de caldera), de no contar con las medidas requeridas se procederá a la expansión. Teniendo en cuenta la cantidad de tubería que hay que medir y de no estar debidamente identificada, dará pauta a una equivocación (anexo 7: Formato de control de calidad de expansiones de tubería).

#### **4.2. Procedimiento de soldadura**

El procedimiento de soldadura o WPS (Welding Procedure Specification) es un documento que provee las directrices para realizar la soldadura con base en el requerimiento del código, proporciona igualmente la información necesaria para orientar al soldador u operador de soldadura y asegurar el cumplimiento de

los requerimientos del código. Describe las variables esenciales, no esenciales y cuando se requiere, las variables suplementarias esenciales de cada procedimiento de soldadura. Debe estar firmado por el inspector de Soldadura.

El Código ASME sección IX, Estándar para *calificar de procedimiento de soldadura, soldadores y operadores de soldadura*, da los lineamientos para desarrollar el procedimiento de soldadura.

En este caso se estará elaborando un procedimiento de soldadura para un metal base SA-299 (ver anexo 8: Especificación del material base), que es el material con que está hecho el domo de la caldera (ver anexo 2: Ficha técnica de la caldera).

#### **4.3.1.      Diseño de la junta**

En el Código ASME Sección IX, indicará el tipo de junta, las tolerancias dimensionales, materiales de refuerzo si aplica, y el tipo de material, si es una junta de bisel doble, el material de soldadura se considera refuerzo para el lado posterior.

Figura 27. **Diseño de junta**

<b>Unión</b>		
Diseño de la Unión: <u>tope</u>		
Respaldo (sí) _____ (no) <u>X</u> _____	<input type="checkbox"/> Metal	<input type="checkbox"/> No fusiona
Material del respaldo (Tipo) <u>N.A.</u>	<input type="checkbox"/> Elemento no metálico	<input type="checkbox"/> Otros
<small>(Referencia a ambos respaldo y retenedores)</small>		
<b>DETALLES</b>		
t = ILIMITADO		

Fuente: archivo TESTING S. A.

#### 4.3.2. **Metal base**

Es la pieza de metal a unir, ya sea tubo o lámina, pueden ser del mismo tipo o de diferente tipo de material. El código ASME divide los tipos de materiales en números P y Grupos. En el WPS debe detallarse como mínimo el número P, el grupo, el espesor o rango de espesores y el diámetro si es tubería.

Tabla VIII. **Especificación del metal base**

METAL BASE			
P Núm. 1	Grupo Núm. 3	Hasta P Núm. 1	Grupo Núm. 3
0			
Tipo de especificación y grado:		ASTM A 299 Gr. B	
A tipo de especificación y grado:		ASTM A 299 Gr. B	
0			
A análisis químico o propiedades mecánicas: N.A.			
Rango de espesor: de 3/16" a 8"			
Metal Base:		Bisel: 3/16" a 8"	Filete: Ilimitado
Rango de diámetro de tubería:		Bisel: N.A.	Filete: N.A.
Otros: N.A.			

Fuente: archivo TESTING S. A.

#### 4.3.3. **Material de aporte**

El material de aporte depende grandemente del metal base que se requiere para la fusión, en el WPS se tiene que indicar que tipo de material de aporte está calificado para realizar el trabajo de soldadura (ver anexo 11: Características eléctricas). La información que se suministra en el procedimiento contienen condiciones que son específicas para cada proceso (ver anexo 9: Agrupación de electrodos y varillas de soldadura para calificar).

Tabla IX. **Características del metal de aporte**

METAL DE APORTE	
Spee. Núm. (SFA)	5,28 & 5,1
AWS Núm. (Class)	ER90S-D2 & E-9018M
F-Núm.	6 & 4
A Núm.	1 & 1
Diámetro del metal de aporte:	0,045" & 1/8"

Fuente: archivo TESTING S. A.

#### 4.3.4. Posición

En la parte QW-405 da los parámetros a calificar, en dicho procedimiento especifica si es una junta en filete o a tope y el sentido de progresión de la soldadura (ver anexo 10: tipos de posiciones de soldadura y su clasificación).

Tabla X. **Especificación de la posición de soldadura**

POSICIÓN DE LA SOLDADURA	
Posición de bisel	3G
Avance de la soldadura vertical	Ascendente

Fuente: archivo TESTING S. A.

#### 4.3.5. Precalentamiento y tratamiento entre pases

Esta temperatura está en función del tipo de material y en el WPS debe especificarse, en caso que se requiera, la temperatura mínima de precalentamiento, la máxima y la mínima temperatura entre pases.

Tabla XI. **Especificación de calentamiento del material base**

PRECALENTAMIENTO	
Mínima temperatura de precalentamiento	110 °C
Máxima temperatura entre pases	110 °C
Mantenimiento de calor	Continuo

Fuente: archivo TESTING S. A.



Figura 28. **Aplicación de precalentamiento**



Fuente: archivo TESTING S. A.

#### **4.3.6. Tratamiento térmico post-soldadura**

Los parámetros se podrán encontrar en la parte QW-406, esta temperatura está en función del tipo de material y se tiene que especificar en el WPS, la temperatura y el mantenimiento de la misma, debe tenerse en cuenta que el tiempo de la aplicación del tratamiento está en función del espesor. En este caso no aplica, por el motivo que el WPS del fabricante no lo especificó.

#### **4.3.7. Gases**

Si aplica debe especificarse el tipo de gas, la mezcla en porcentajes y el rango del flujo saliente, los parámetros se encuentra en la parte QW- 408.

Tabla XII. **Porcentaje de la compasión del gas**

	<b>GAS</b>	<b>MEZCLA</b>	<b>RANGO DE FLUJO</b>
<b>Protección</b>	Ar – CO2	75 % - 25 %	30 – 50 CFH
<b>Avance</b>	N.A.	N.A.	N.A.
<b>Respaldo</b>	N.A.	N.A.	N.A.

Fuente: archivo TESTING S. A.

#### **4.3.8. Técnica**

Se debe indicar tipo de limpieza inicial y entre pases, tipo de depósito, tamaño de orificio de salida de gas, tipo de oscilación, método de protección de la raíz, pases por lado, electrodo múltiple o sencillo, rango de velocidad de avance e insertos consumibles.

Tabla XIII. **Descripción de la técnica de soldadura**

<b>TÉCNICA</b>
Con oscilaciones o sin oscilaciones: con oscilaciones
Tamaño del orificio de la boquilla del gas: N.A.
Limpieza inicial y entre pases: esmerilado y cepillado
Método de pulido posterior: con pulidora o mototool
Oscilación: 1,5 $\phi$ del electrodo
Distancia de la máquina hasta el punto de trabajo: hasta 20 metros
Múltiple o simple pase (por lado): múltiples
Rango de velocidad de avance: 4 a 8 in/min
Martillado: prohibido
Otros: N.A.

Fuente: archivo TESTING S. A.

#### **4.3.9. Variables**

Durante el proceso de soldadura existen variables que se pueden modificar sin afectar la calificación del procedimiento, estas se denominan variables no esenciales.

El procedimiento de soldadura es específicamente para el tipo de material que contiene el domo de la caldera SA-299, se muestra el WPS de la compañía fabricante, la cual es la recomendada (ver anexo 12: Procedimiento de soldadura del fabricante).

#### **4.4. Calificación del procedimiento de soldadura (PQR)**

La calificación del procedimiento de soldadura (Procedure Qualification Record) (PQR) se realiza con base en el WPS y se detallan los rangos de calificación y se anexan los ensayos mecánicos realizados a la muestra, ya sea tensión, doblado, impacto o dureza. En el PQR se debe detallar además el nombre del soldador, su estampa y su número de Identificación, el inspector responsable de realizar las pruebas con su respectiva firma, el inspector responsable de diseñar el WPS, la fecha y el código bajo el cual se calificó el procedimiento (ver anexo 13: Calificación del procedimiento de soldadura del fabricante).

#### **4.5. Calificación del soldador**

La calificación del soldador se debe llevar a cabo con base en el procedimiento de soldadura (WPS) previamente calificado y aprobado.

La calificación del soldador consiste en una prueba de su habilidad para soldar y dependiendo de las necesidades del proyecto, esta prueba se realiza en diferentes posiciones, 1G, 2G, 3G, 4G, 5G o 6G, para soldadura a tope.

Existen variables esenciales y no esenciales para la calificación del soldador, que se encuentran en el código ASME IX artículo III Welder Performance Qualifications QW-300. La prueba del soldador deberá estar dirigida por un inspector de soldadura calificado y toda prueba debe ser sometida a ensayos, ya sean destructivos o no destructivos, deberá haber pasado previamente la inspección visual, de acuerdo a los requerimientos de la norma. Una vez el soldador sea evaluado y la probeta examinada, ya sea por ensayos mecánicos o radiografía, y siempre y cuando los resultados sean satisfactorios, se deberá llenar la plantilla de calificación del soldador, indicando principalmente:

- Nombre completo del soldador
- Número de Cédula de Ciudadanía o Pasaporte
- Estampa, rango de diámetros que cubre esta calificación
- Rango de espesores
- Posición calificada
- Proceso
- Metal base (número P)
- Metal de aporte (número F)
- Espesor del metal depositado
- Progresión de soldadura
- WPS y PQR sobre el cual se realizó la calificación
- Tipo de ensayo en que se realizó la calificación
- Fecha de calificación
- Inspector que condujo la prueba

- Aceptación por parte del cliente

Estos registros se deben guardar y la calificación del soldador caduca únicamente si pasan más de seis meses sin realizar una soldadura bajo el mismo procedimiento, cuando sale o finaliza el proyecto (ver anexo 14: Certificado de soldador).

Figura 29. **Práctica del proceso de calificación del soldador**



Fuente: archivo TESTING S. A.

#### **4.6. Prueba hidrostática**

La prueba hidrostática se encuentra incluida en los ensayos no destructivos y específicamente en los de hermeticidad.

Una prueba hidrostática es aquella en la cual las partes sometidas a la presión de trabajo en una caldera se someten a la presión de prueba  $=1,5 \times$  presión de trabajo, como lo norma el Código ASME Sección I parte PW-54. Esta

prueba se realiza para detectar daños en tubos de fuego, debilitamiento o pérdida del sello hermético en los extremos de los tubos, grietas en las champas o espejos y, para visualizar si hay fugas de agua a través de grietas de los tubos.

#### **4.6.1. Procedimiento para la prueba hidrostática**

Para realizar la prueba, la caldera se llena completamente de agua y se aplica presión con la bomba BFP (Boiler Feed Pump), que es la bomba principal de alimentación de agua hacia la caldera. Al ir aumentando la presión, se observa un manómetro que se encuentra colocado en la parte superior de la caldera. Algunos exigen, además, que el agua tenga una temperatura mínima de 70 °F, con la temperatura del agua por arriba de la temperatura del aire del ambiente. La presión a la cual se somete la caldera es de 50 % más a la presión del trabajo (150 % de la presión del trabajo). En este caso esta caldera trabaja a una presión de 1 000 psi y por tanto la presión de prueba será de 1 500 psi.

Figura 30. **Manómetro indicador de presión de prueba**



Fuente: archivo TESTING S. A.

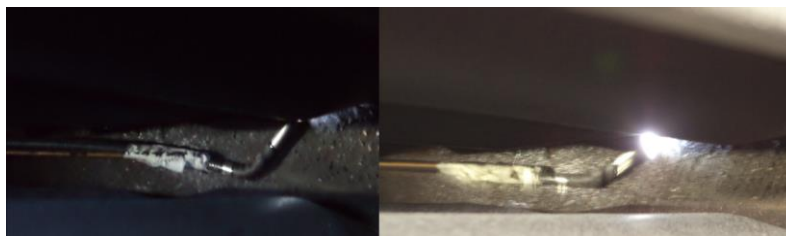
El período de prueba hidrostática durará dos horas y media hasta que se determine que no exista ninguna fuga de agua en las tuberías de fuego como lo norma el código ASME Sección I parte PW-54 , de ser lo contrario se tiene que identificar en que parte se tiene la filtración de agua, Asimismo se tiene que reparar y posteriormente repetir el proceso de prueba.

#### **4.6.2. Inspección de fugas**

La inspección de las tuberías es un trabajo que se tiene que hacer minuciosamente y apoyándose con cualquier equipo de inspección visual que facilite la visibilidad de los lugares que son de difícil acceso.

En el momento de tener el domo de la caldera presurizada, se puede ingresar por el hogar de los tubos de fuego para inspeccionar el domo por el lado de afuera con un aparato llamado boroscopio o boróscopo, es un accesorio que se utiliza en las inspecciones visuales en las cuales no se dispone de un espacio físico del cual poder ver dentro de las separaciones de los tubos, lo cual obliga a utilizar un instrumento que tenga un tamaño reducido para acceder a través de los huecos y que en algunos casos permita incluso el giro.

**Figura 31. Inspección con un boroscopio**

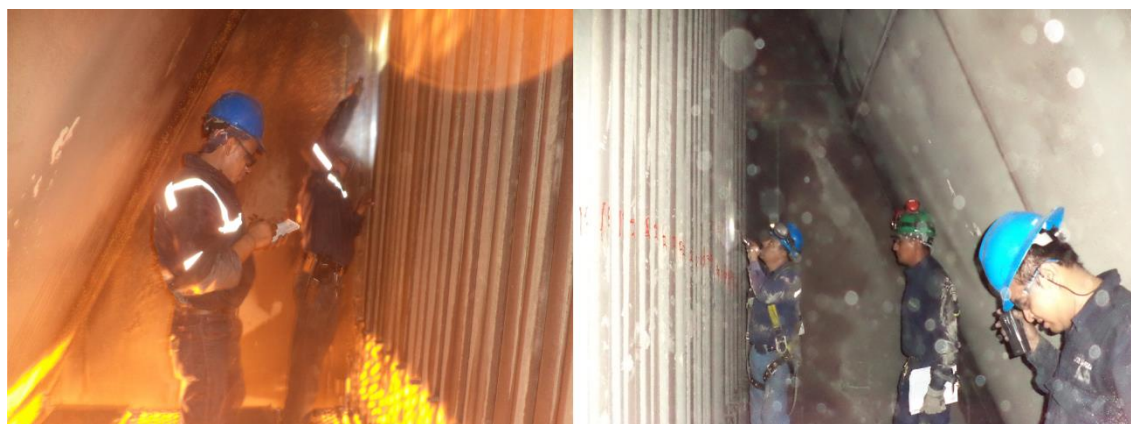


Fuente: archivo TESTING. S. A.

En el transcurso de la inspección de las tuberías de los domos, es muy importante saber identificar en que tubo se encuentra las fugas, si se tuviera, por lo que con una mala ubicación se trabajará un tubo en buenas condiciones. Y para esto se requiere de un plano que indique bien las distribuciones de cada tubo en los domos (ver anexo 14: Distribución de ductos en caldera).

La inspección visual es fundamental, para detectar las fugas que se presenten y es requerido que se cuenten más de una persona realizando esta tarea para descartar cualquier posibilidad que pasarse por alto una fuga o equivocación en la anotación de la ubicación de la fuga.

Figura 32. **Inspección visual de fugas**



Fuente: archivo TESTING S. A.

#### **4.7. Desarrollo de la inspección**

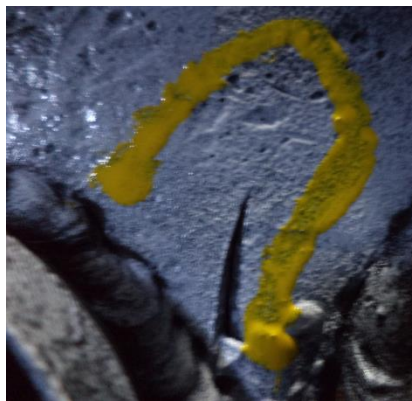
El área a inspeccionar debe ser completamente limpia, con la finalidad de eliminar de la superficie cualquier resto de suciedad, oxido, incrustaciones o recubrimientos que pudieran impedir la acción de las partículas magnéticas y la correcta interpretación al momento de realizar la inspección visual. Las zonas



donde se aplicaron los ensayos era la zona de material base de cada domo ubicada entre las conexiones de tubería.

Una vez finalizada la limpieza del material base, se procedía a llevar a cabo la inspección visual de todas las soldaduras de sello o de tapón que presentara el domo, así como luego de esto a la aplicación del medio de contraste para poder llevar a cabo el ensayo de partículas magnéticas.

Figura 33. **Indicación de grieta**



Fuente: archivo TESTING S. A.

Durante el desarrollo del ensayo de partículas se iban marcando todas las zonas en las que se presentaran discontinuidades, que podrían llegar a ser defectos motivos de rechazo. Al finalizar el ensayo se procedía a verificar las indicaciones mediante el ensayo de líquidos penetrantes, para de esta forma corroborar si eran o no motivo de rechazo.

La aplicación del ensayo de líquidos penetrantes se lleva a cabo de la siguiente forma: primero se procedía a la limpieza de la zona a ser inspeccionada, por medio de la aplicación de solvente, esto con la finalidad de

eliminar de la superficie la capa de recubrimiento que se utilizó para realizar el ensayo de partículas magnéticas, así como cualquier otro tipo de suciedad que pudiera llegar a interferir con la acción de líquidos penetrantes. Una vez finalizada la limpieza, se procedía a la aplicación del penetrante, el cual debía dejar sobre la superficie un tiempo de 10 minutos, con lo cual si existe un defecto, este puede penetrar en el mismo. Luego de esto se procedía a realizar la limpieza del exceso de penetrante de la superficie del material con la ayuda de un paño húmedo en solvente. Cuando se garantizaba que ya no había restos de penetrante sobre la superficie se aplicaba el revelador, el cual se dejaba actuar un tiempo de aproximadamente 5 minutos, luego de lo cual se procedía con la interpretación.

**Figura 34. Revelado de fisura por medio de líquidos penetrantes**



Fuente: TESTING S. A.

En caso que, ya sea el ensayo de partículas magnéticas o de líquidos penetrantes, hubiera demostrado la existencia de algún defecto motivo de rechazo, entonces se procedía a realizar, sobre la zona afectada, un barrido con ultrasonido, con la finalidad de determinar cuál es la profundidad que este

defecto presenta sobre el material de los domos. Para llevar a cabo este ensayo se utilizó un palpador angular de 45° de 2,25 MHz. de frecuencia y 1/4" de diámetro. Se realizaba un barrido perpendicular a la dirección en la que el defecto crecía tratando de esta forma de determinar cuál era la profundidad máxima del mismo. Esto se llevó a cabo a ambos lados del defecto.

Figura 35. **Determinación de profundidad de grieta por medio de ultrasonido**



Fuente: archivo TESTING S. A.



## **5. MANUAL ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE LOS TRABAJOS DE REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE DOMO DE UNA CALDERA ACUOTUBULAR IMPLEMENTADA POR LA EMPRESA PSMI S. A.**

### **5.1. ¿Qué es un inspector de soldadura?**

Un inspector de soldadura funciona como representante judicial de una organización. Es responsabilidad de un instructor juzgar la calidad del producto en relación a la misma forma de lo escrito en la especificación. Un inspector debe ser capaz de interpretar estas especificaciones como también sus limitaciones e intenciones. La meta debe ser una calidad adecuada, pero el cumplimiento y entrega de un proyecto no puede ser retrasado sin causa justificada.

### **5.2. Responsabilidad del inspector de soldadura**

El inspector de soldadura tendrá una posición de responsabilidad. Esta responsabilidad demanda de una persona profesional con buen carácter, habilidad y sentido común. El inspector de soldadura puede trabajar en distintas plantas de fabricación y en distintos sitios de trabajo. Es obligación un estricto cumplimiento personal y seguridad. En ningún momento debe considerarse, él mismo con derecho o privilegios especiales. En cuando al comportamiento con la organización del constructor, debe ser imparcial, dará decisiones prontamente y será tolerante de la opinión de los otros durante la comunicación.

La primera función del inspector es inspeccionar el trabajo fabricado para asegurar que tenga el requerimiento de contrato. Esto requerirá mantenerse en contacto con las actividades de la fabricación.

El deber de un inspector para muchos tipos de fabricación es seguir el orden general del procedimiento de soldadura y tendrá responsabilidad con:

- Interpretar todos los diseños y especificaciones de elemento soldados.
- Chequear que los materiales y los consumibles empleados para la soldadura han sido apropiados.
- Chequear e identificar que el material base y el metal de soldadura ha sido el correcto.
- Chequear la composición química y propiedades mecánicas mostradas en los informes de ensayos, sean las requeridas para el proceso de soldadura.
- Chequear las imperfecciones y desviaciones del metal base.
- Verificar el almacenamiento del metal de aporte.
- Comprobar que exista una buena penetración de la junta de soldadura
- Revisar el equipo que será usado.
- Verificar que la preparación de la junta de soldadura sea la adecuada.
- Verificar la aplicación del procedimiento de soldadura aprobado.
- Revisar los informes de calificación para los procedimiento de soldadura y soldadores.
- Evaluar los resultados de las pruebas en contraste con las especificaciones.
- Mantener un registro.
- Preparar informes.

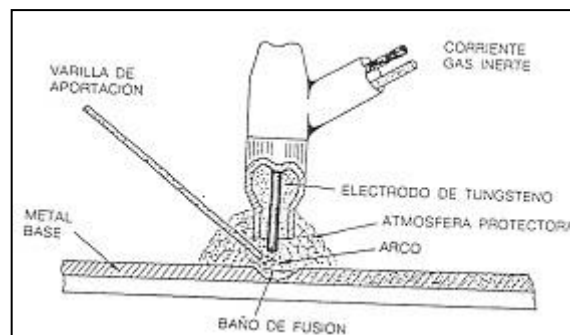
### 5.3. Cuál es el proceso de soldadura TIG (GTAW)

El proceso de soldadura con electrodo refractario bajo atmósfera gaseosa. Esta técnica puede utilizarse con o sin metal de aporte.

El gas inerte, generalmente es argón, aísla el material fundido de la atmósfera exterior evitando así su contaminación. El arco eléctrico se establece entre el electrodo de tungsteno no consumible y la pieza. El gas inerte envuelve también al electrodo evitando así toda posibilidad de oxidación.

Como material para la fabricación del electrodo se emplea el tungsteno. Se trata de un metal escaso en la corteza terrestre que se encuentra en forma de óxido o de sales en ciertos minerales. De color gris acerado, muy duro y denso, tiene el punto de fusión más elevado de todos los metales y el punto de ebullición más alto de todos los elementos conocidos, de ahí que se emplee para fabricar los electrodos no consumibles para la soldadura TIG.

Figura 36. **Proceso de soldadura TIG**



Fuente: JEFFUS, Larry. *GTAW Manual del soldador*. p. 56.

## **5.7. Defectos en la soldadura y como evitarlos**

Una de las partes más importantes del trabajo del inspector de soldadura es la evaluación de soldadura para determinar su comportamiento para el servicio proyectado durante las varias etapas de esta evolución. El inspector va a estar buscando irregularidades en la soldadura o en la construcción soldada. Comúnmente se refiere a estas irregularidades como discontinuidades.

En soldadura los tipos de discontinuidades que preocupan son cosas como: grietas, poros falta de fusión, socavación, entre otras.

El conocimiento de estas discontinuidades es importante para el inspector por un número de razones. Primero, el inspector va a ser contratado para inspeccionar visualmente las soldaduras para determinar la presencia de alguna de estas discontinuidades. Si son descubiertas, el inspector de soldadura debe ser capaz de describir su naturaleza, ubicación y tamaño. La información va a ser requerida para determinar si esa discontinuidad requiere o no de reparación, de acuerdo con las especificaciones del trabajo.

Si un tratamiento adicional es considerado necesario, el inspector de soldadura debe ser capaz de describir precisamente la discontinuidad con el detalle suficiente para que pueda ser corregido por el personal de producción.

Es extremadamente importante comprender la diferencia entre discontinuidad y defecto. Muy a menudo la gente intercambia los términos.

Mientras que una discontinuidad es algo que introduce una irregularidad en una estructura que de otra manera sería uniforme, un defecto es una



discontinuidad específica que puede comprometer el comportamiento de la estructura para el propósito que fue diseñada.

#### **5.8.1. Grietas**

La grieta es la discontinuidad más crítica. La criticidad es debida a las grietas caracterizadas como lineales, como también a las que muestran condiciones de extremo muy filosas. Dado que los extremos de las grietas son muy afilados, hay una tendencia de la grieta a crecer, o a propagarse, si es aplicada una tensión.

Las grietas se inician cuando la carga, o tensión aplicada a un componente excede la resistencia a la tracción. En otras palabras, cuando hay una condición de sobrecarga que causa la grieta. La tensión puede surgir durante la soldadura o inmediatamente después, o cuando la carga es aplicada.

Se pueden clasificar las grietas utilizando distintos criterios. Un criterio es según sean el tipo de grieta que puede ser en “frío” o en “caliente”. Esos términos son una indicación de la temperatura del metal a la cual la grieta ocurre. Esta es una manera en la cual se puede saber exactamente por qué apareció una grieta.

Las grietas en caliente generalmente ocurren mientras el metal se solidifica a temperaturas elevadas. Las grietas en frío ocurren después que el metal se enfrió hasta la temperatura ambiente. Estas grietas resultan de las condiciones de servicio.

Las grietas pueden ser descritas por su dirección con respecto al eje longitudinal de la soldadura. Aquellas que están en dirección paralela al eje longitudinal son denominadas grietas “longitudinales” y las grietas que están en

dirección perpendicular al eje longitudinal de la soldadura son llamadas grietas “transversales”.

Las grietas longitudinales pueden resultar de las tensiones transversales de contracción de soldadura o bien a tensiones asociadas a las condiciones de servicio.

Las grietas transversales son generalmente provocadas por las tensiones longitudinales de contracción de soldadura.

Las soluciones pueden ser las siguientes:

- No se deben enfriar bruscamente los componentes soldados, el enfriamiento deber ser natural, en lo posible lentamente.
- Los electrodos deben ser de las mismas características que el metal base.
- Hay que realizar una adecuada regulación del equipo de soldadura.
- De una forma general y para todas las soldaduras, hay que aplicar una adecuada secuencia de soldadura, así como se prepara convenientemente las uniones, actuando con cuidado en los ángulos de los chaflanes, además de imprimirle al electrodo la técnica.

Figura 37. **Grieta en soldadura**



Fuente: archivos TESTING S. A.

#### **5.8.2. Falta de fusión**

Este es uno de los defectos internos más serios que puede haber en una soldadura. Se produce cuando el electrodo o material de aportación fundido cae sobre el material base sin conseguir el fundido. Puede ocurrir en soldaduras a tope y en soldaduras en ángulo.

Puede ser que la soldadura no se realice con la intensidad de corriente adecuada, que el operario no esté capacitado para efectuar el trabajo.

Figura 38. **Falta de fusión en soldadura**



Fuente: archivo TESTING S. A.

### **5.8.3. Falta de penetración**

La falta de penetración, a diferencia de la falta de fusión, es una discontinuidad asociada solamente con la soldadura con bisel. Es una condición donde el metal de soldadura no se extiende completamente a través del espesor de la junta cuando es requerida junta con la penetración total por una especificación.

En una junta donde los requerimientos de diseño especifican soldaduras con penetración parcial de junta y esto es común. De todos modos, en una junta donde se requiere penetración total, la presencia de falta de penetración es causa de rechazo.

Puede darse por:

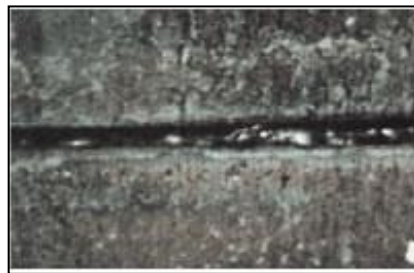
- Defectuosa preparación de los bordes de la unión
- Emplear una intensidad de corriente demasiado baja
- Aplicar a la soldadura una velocidad de avance excesiva

- Soldar con una longitud de arco excesiva
- Emplear un electrodo de excesivo diámetro

Soluciones:

- Preparar adecuadamente las uniones de soldar.
- Ajustar convenientemente el grupo de soldadura, regulando la intensidad en función del espesor de la piezas que se vayan a soldar, el diámetro del electrodo y la posición de soldadura.
- Realizar la soldadura observando detenidamente el depósito del cordón, imprimiéndole la velocidad adecuada.
- La longitud del arco eléctrico debe ser aproximadamente el diámetro del electrodo.
- La elección del diámetro del electrodo ha de hacerse teniendo en cuenta los espesores de las piezas que se desea soldar.

Figura 39. **Falta de penetración en material base**



Fuente: archivos TESTING S. A.

#### **5.8.5. Poros**

La AWS A3.0 define porosidad como “una tipo de discontinuidad que forma una cavidad provocada por gases que quedan atrapados durante la

soldadura”. Debido a su forma característicamente esférica, la porosidad normal es considerada como la menos dañina de las discontinuidades.

Como las grietas, hay diferentes nombres dados a tipos específicos de porosidad. En general, se refiere a la porosidad de acuerdo a la posición relativa, o a la forma específica del poro. Por eso, nombres como porosidad distribuida uniformemente, nido de poros, poros alineados y poros túnel, son empleados para definir mejor la presencia de poros. Una sola cavidad es denominada un poro o cavidad.

En estos tipos, los poros son generalmente de forma esférica. De todos modos, en los poros túnel, los poros no son esféricos; sino alargados. El tipo poros túnel representa el tipo más dañino si la función principal de la soldadura es el confinamiento de gas o líquidos, porque representa una posibilidad de un camino de debilidad.

Los poros son normalmente provocados por la presencia de contaminantes o humedad en la zona de soldadura, que se descomponen debido a la presencia del calor de la soldadura y de los gases formados. Esta contaminación o humedad puede provenir del electrodo, del metal base, del gas de protección o de la atmósfera circundante. De todos modos, variantes en la técnica de soldadura también pueden causar poros.

Cuando la porosidad es revelada en una placa, va a parecer como una región bien definida, porque representa una pérdida significativa de la densidad del material. Va a aparecer normalmente como una región circular.

Posibles causas:

- Material de base con gran contenido de carbono, azufre o fósforo; estos elementos forman gases en sus combustión.
- El electrodo se pone rojo, en su parte final, por exceso de intensidad.
- Revestimiento del electrodo húmedo.

Soluciones:

- Cuando salgan poros por la acción de azufre o fósforo, utilizar electrodos básicos reacondicionados.
- Disminuir la intensidad.
- Sacar los electrodos antes de utilizar.





## CONCLUSIONES

1. Para establecer el procedimiento adecuado de soldadura del domo de una caldera, se consulta en la Sección II del Código ASME, este especifica los componentes químicos de los cuales está fabricado el domo de la caldera para saber qué tipo de electrodo emplear en la soldadura.
2. Las mediciones geométricas tomadas en la tubería de los domos fueron el punto de partida para identificar cuáles requerían de expansión y reexpansión y establecer una base de datos para que si en un futuro se realice otro mantenimiento, tener en cuenta cuáles ya se realizaron y si se requiere soldadura de sello o en el peor de los casos cambio total de la tubería.
3. El Código ASME Sección IX es una guía para realizar los PQR y los WPS basándose en el material base, para este caso es un SA- 299 y saber qué tipo de electrodo aplicar, si debe ser es un E-9018M o ER90S, la preparación de la juntas antes de aplicar la soldadura.
4. La inspección visual es el método más usado para los END, es el medio de partida para aplicar cualquier otro método, como lo es partículas magnéticas que pero por su limitación de identificar fallas solo superficiales, para indicar bien la terminación de la falla es mejor aplicar tintes penetrantes END para mostrar la fisura o defecto encontrado con mejor detalle y el otro método más aplicado es el ultrasonido industrial

que por medio de los espacios vacíos que se encuentran en el material muestra en la pantalla el tipo de defecto que presenta.

5. Al momento de la aplicación de la soldadura, el inspector de control de calidad tiene que tener un gran criterio para identificar el tipo de falla y por ende saber el motivo de la misma, cuando en la soldadura se presenta porosidad es por no tener en horno los electrodos máximos los de alto hidrógeno, una falta de fusión o excesiva fusión es por una mala graduación de la máquina de soldar, el cordón irregular es uno de los más encontrados en las soldaduras, esto depende mucho del soldador.
6. Las fallas en cordones de soldadura la mayoría es la mala práctica en la aplicación que depende mucho del soldador, lo que es muy importante es el almacenamiento del material de aporte y la graduación del amperaje de la máquina de soldar.

## **RECOMENDACIONES**

### **A la Gerencia**

1. La capacitación constante del inspector de control de calidad sobre los tipos de ensayos no destructivos, para entender e interpretar los resultados revelados.
2. Aplicar siempre el procedimiento de un mantenimiento de calderas por Norma ASME Sección I, que es la que se da el procedimiento para la aplicación de cada uno de los ensayos que desea aplicar.

### **Control de calidad como departamento**

3. Se tiene el control estricto de la ubicación de la tubería analizada al momento de estar realizando las mediciones geométricas, de preferencia si se tiene el plano a la mano ir apuntando las mediciones y marcarlas al realizarse las expansiones, con el objetivo de aplicarlas a un turno que este en el margen de lo aceptable.
4. Cuando se está aplicando los END si se trata de partículas magnéticas, líquidos penetrantes, la correcta aplicación de los tintes influirá en la revelación de las fallas, se debe tener el criterio para identificar y dar el motivo por el que sucedió dicha falla, por la mala práctica de la aplicación de los tintes o dejar menos tiempo de lo recomendado la falta de penetración del tinte afectará al momento de tratar de identificar las dimensiones de la falla que se presente.

5. Al aplicar la reparación con soldadura tener muy en cuenta los WPS, que fue lo indicado o lo recomendado y tener muy en cuenta si aplica un precalentamiento del material base que cumpla lo indicado, de no obedecer esto puede afectar drásticamente el material base del domo y se requerirá realizar un alivio de tensiones que esto elevaría los costos del mantenimiento.
6. El personal tiene que estar familiarizado con la aplicación de soldadura que se aplicará a la reparación para garantizar la soldadura y descartar una reparación innecesaria.
7. Tener un formato de control de calidad por cada reparación de soldadura es indispensable, tanto para el cliente que les servirá como un historial de la caldera, como para la empresa contratista para su bitácora diaria y expediente interno.
8. Al momento de las pruebas de presión hidrostática el personal encargado tiene que tener muy en cuenta la ubicación de cada elemento de la caldera, para identificar rápidamente en que fila y columna está la fuga de agua para su exacta reparación posterior, de lo contrario dar un dato erróneo puede llevar a la reparación de una soldadura buena y esto implica un retraso mucho mayor para el funcionamiento de la caldera.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ASKELAND, Donald R. *Ciencia e ingeniería de los materiales*. 3a ed. México: Thomson, 1998. 790 p.
2. HEARN, E.J. *Resistencia de materiales: diseño de estructuras y máquinas*. 2a ed. México: McGraw-Hill, 1984. 664 p.
3. KOHAN, Anthony. *Manual de calderas*. 4a ed. México: McGraw-Hill, 2011. 752 p.
4. MCPHERSON, George. *Introducción a máquinas eléctricas y transformadores*. México: Limusa, 1987. 547 p.
5. MORROW, H. *Metals handbook desk edition*. 2a ed. Ohio: American Society for Metals, 1998. 1535 p.
6. NORTON, Robert L. *Diseño de maquinaria*. 4a ed. México: McGraw-Hill, 2009. 724 p.
7. SEGOVIA, Serafín. *Manual de soldaduras*. Madrid: Editorial Manuel Antonio Madrid Vicente, 2012. 574 p.
8. TIMOSHENKO, Stephen. *Elementos de resistencia de materiales*. 2a ed. España: Montaner y Simón, 1966. 404 p.



## **ANEXOS**





## Anexo 1. Tipos de materiales usados en la caldera

SA-53	Tubería soldada y sin costura de acero (no se incluye la galvanizada)
SA-105	Productos forjados de acero al carbono, para componentes de tubería
SA-106	Tubería son costura de acero al carbono, para servicios a alta temperatura
SA-178	Tubos de acero al carbono, soldados por resistencia eléctrica, para calderas
SA-181	Bridas para tubería en acero rolado o forjado, accesorios forjados, y válvulas y partes forjadas para servicios generales
SA-182	Bridas para tubería de acero aleado rolado o forjado, accesorios forjados, válvulas y partes forjadas, para servicio a alta temperatura (únicamente ferrítico)
SA-192	Tubos sin costura de acero al carbono, para calderas en servicio a alta presión
SA-209	Tubos sin costura, de acero aleado al carbono –molibdeno, para calderas y sobrecalentadores
SA-210	Tubos sin costuras de acero medio carbono, para calderas y sobrecalentadores
SA-213	Tubos sin costura, de acero aleado ferrítico y austenítico, para calderas, sobrecalentadores e intercambiadores de calor (únicamente ferrítico)
SA.216	Fundiciones de acero al carbono adecuadas para la soldadura por fusión para servicio a alta temperatura
SA-217	Fundiciones de acero aleado para partes sometidas a presión, adecuadas para servicio a alta temperatura
SA-234	Accesorios de tubería conformados, de acero al carbono y acero aleado para temperaturas moderadas y elevadas
SA-250	Tubos soldados por resistencias eléctricas, de acero aleado ferrítico, para calderas y sobrecalentadores
SA-266	Tambores forjados de acero al carbono sin costura
SA-268	Tubos sin costura y soldados, de acero inoxidable ferrítico, para servicio general
SA-333	Tubería sin costura y soldada, de acero al carbono y aleado, para servicio a baja temperatura
SA-335	Tubería sin costura de acero aleado ferrítico, para servicio a alta temperatura

Fuente: Materiales usados en cladera.

## Anexo 2. Ficha técnica de la caldera

**FORM P-3 MANUFACTURERS' DATA REPORT FOR WATERTUBE BOILERS, SUPERHEATERS, WATERWALLS, AND ECONOMIZERS**  
 Sheet 1 of 2  
 114-0349 As Required by the Provisions of the ASME Code Rules BWFP 32581-6

1. Manufactured by The Babcock & Wilcox Company, 91 Stirling Avenue, Barberton, Ohio 44203  
 (Name and address of Manufacturer)

2. Manufactured for Morrison-Knudsen Company Inc., Winston-Salem, North Carolina  
 (Name and address of purchaser)

3. Location of Installation R. J. Reynolds Tobacco Company  
Stirling Two Drum (Name and address) Tobaccoville Cigarette Facility  
Tobaccoville, North Carolina

4. Unit Identification Bent Tube Boiler ID Nos. BW-24752 - - 24752 1983  
 (Complete boiler, superheater, waterwall, economizer, etc.) (Mfrs. Serial No.) (CRN) (Drawing No.) (Nat'l. Brd. No.) (Year Built)

5. The chemical and physical properties of all parts meet the requirements of material specifications of the ASME BOILER PRESSURE VESSEL CODE. The design, construction, and workmanship conform to the ASME Rules, Section 1, 1980 and Addenda to December 31, 1981  
 (Year) (Date)

Remarks: Manufacturers' Partial Data Reports properly identified and signed by Commissioned Inspectors are attached for the following items of this report: Drums, 6a, Babcock & Wilcox-Canada, Babcock, Desuperheater,  
 (Name of part, item number, mfr's name, and identifying stamp)

9a, Graham Mfg. Co. Inc., Graham Mfg. Co. Inc.; Attemperator & Crossover Piping, 9a,  
Power Piping Company, Power Piping Company Continued on P-6 Form

6 (a) Drums

No.	Inside diameter in.	Inside Length ft.	Shell plates			Tubesheets		Tube hole ligament efficiency	
			Mat'l. Spec. No., Grade	Thick-ness in.	Inside radius in.	Thick-ness in.	Inside radius in.	Longi-tudinal	Circum-ferential
1	42	20 2-7/8	SA299	4-11/16	21	4-11/16	21	.4775	.359
2									
3	60	26 3-3/4	SA299	6-11/16	30	6-11/16	30	.472	.359

No.	Longitudinal joints		Circum. joints		Mat'l. Spec. No., Grade	Heads				Hydro-static test, psi	
	No. & type*	Effi-ciency	No. & type*	Effi-ciency		Thickness, in.	Type**	Radius of dish	Manholes No Size		
1	1 #2	.90	3 #2	.90	SA299	-	2-1/2	4	21	2 16" DIA	-
2											
3	1 #2	.90	3 #2	.90	SA299	-	3-1/8	4	30	2 16" DIA	-

\*Indicate if (1) Seamweld; (2) Fusion welded.

6 (b) Boiler Tubes

Diameter	Thickness	Mat'l. Spec. No., Grade
2.5	.203	SA178A
2.969	.220	SA178A
1.75	.150	SA178A

6 (c) Headers No. N/A or N/A  
 (Box or sinuous or round; Mat. spec. no.; Thickness)  
 Heads or Ends N/A Hydro. Test, psi N/A  
 (Shape; Mat. spec. no.; Thickness)

6 (d) Staybolts N/A  
 (Mat. spec. no.; Diameter; Size telltale; Net area)  
 Pitch N/A in. Net Area N/A in.<sup>2</sup> Max. A.W.P. N/A psi  
 (Supported by one bolt)

6 (e) Mud Drum N/A Heads or Ends N/A Hydro. Test, psi N/A  
 (For sect. header boilers. State Size; Shape; Mat. spec. no.; Thickness) (Shape; Mat. spec. no.; Thickness)

7 (a) Waterwall Headers

No.	Size and shape	Material spec. no.	Thick-ness, in.	Heads or Ends		Hydro. test, psi.	Diameter in.	Thick-ness, in.	Material spec. no.
				Shape	Thick-ness, in.				
12	6.125" RND	SA106B	1.250	Flat	1.125	SA516-70	2.969	.220	SA178A
							2.5	.203	SA178A
							4	.240	SA210A1

7 (b) Waterwall Tubes

No.	Size and shape	Material spec. no.	Thick-ness, in.

8 (a) Economizer Headers

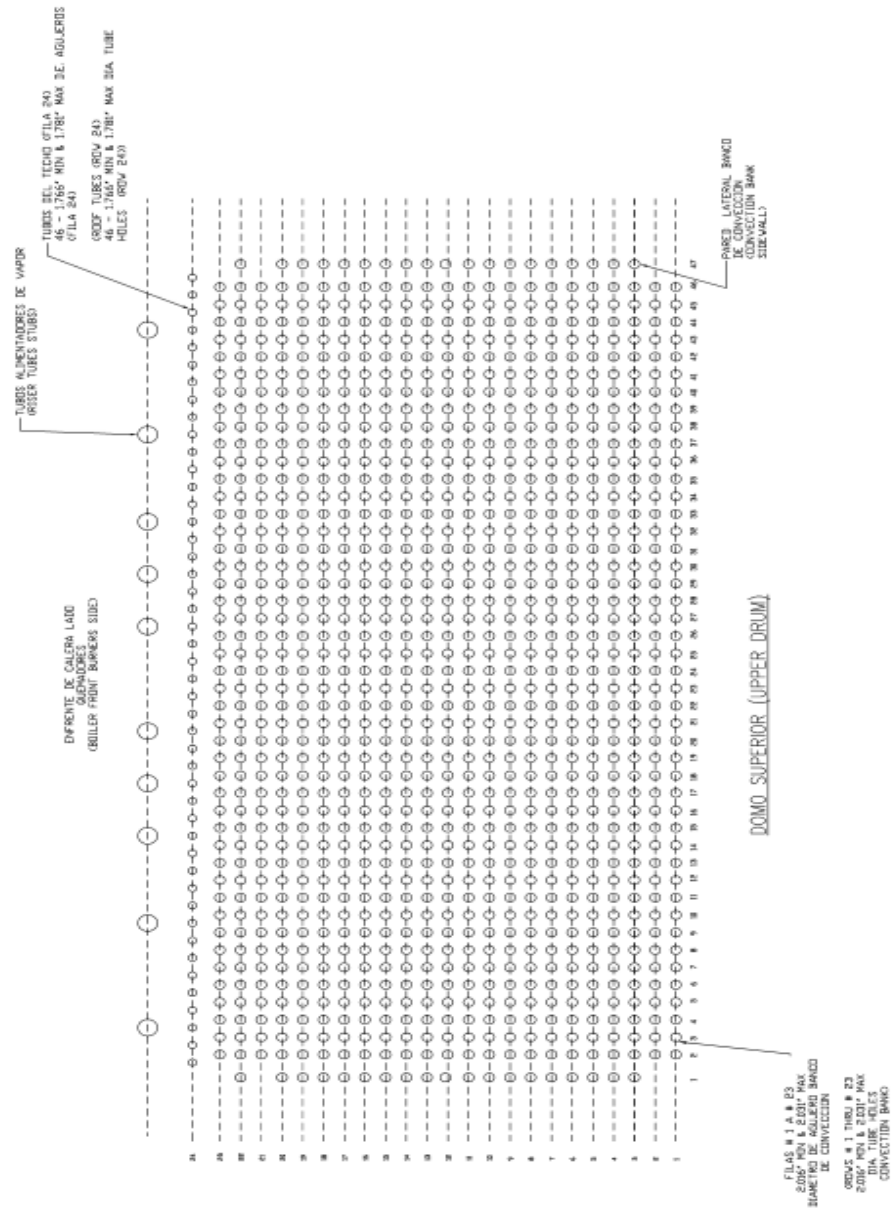
No.	Size and shape	Material spec. no.	Thick-ness, in.

8 (b) Economizer Tubes

No.	Size and shape	Material spec. no.	Thick-ness, in.

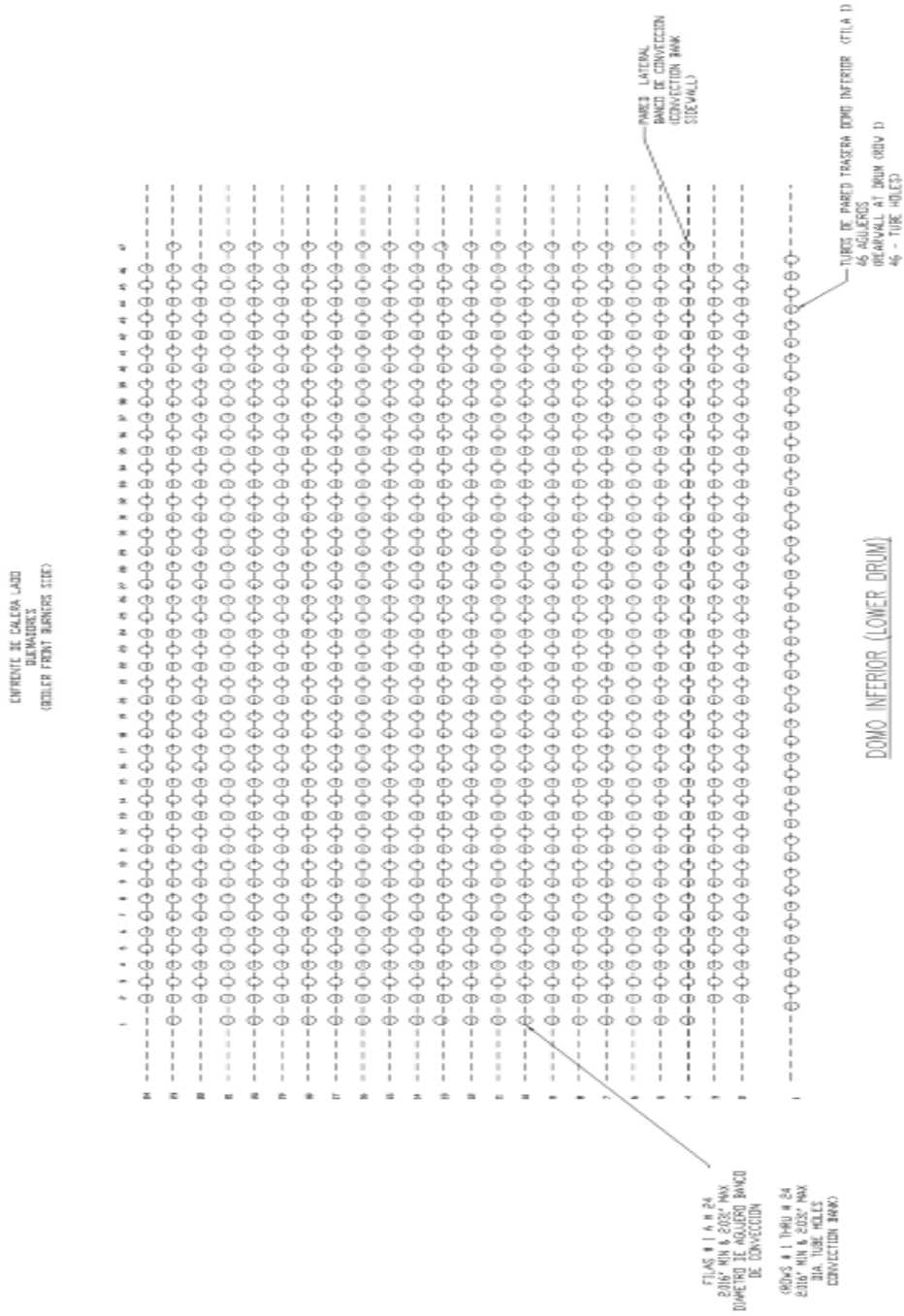
Fuente: Formato ficha técnica.

### Anexo 3. Domo superior de la caldera



Fuente: Domo superior.

anexo 4. **Domo inferior de la caldera**



Fuente : Domo inferior.

## Anexo 5. Tabulación de medidas geométricas de tubería

[illegible]

data info	
no direct	direct
zero	infer
operator	long series
operator	interference
2d projection as discussed	linear time

Indicador	Estado
Indicador de Expansión	Verde
Sobrecalentado	Rojo
Falta de presión	Amarillo

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
01	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
02	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
03	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
04	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
05	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73																											

5310076 3550

5074-0588

Superior PSM

[illegible]



[illegible]




[illegible]

[illegible]

Fecha de	25/07/2011
dent	
Winter	
Mar de los	
Mar de los	
Elmer Hernandez	
Condicion de la obra	154.1 m 3 en 2010 y 147.000

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											



PROJETOS SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA

45, Caldeirão 15/08/2015 SA

45, Caldeirão 15/08/2015 SA

45, Caldeirão 15/08/2015 SA

45, Caldeirão 15/08/2015 SA

45, Caldeirão 15/08/2015 SA

45, Caldeirão 15/08/2015 SA

45, Caldeirão 15/08/2015 SA

45, Caldeirão 15/08/2015 SA

45, Caldeirão 15/08/2015 SA

45, Caldeirão 15/08/2015 SA

45, Caldeirão 15/08/2015 SA

PROJETOS SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										FORMAS DE AVALIAÇÃO GERAL DO PROJETO										OBRAS EM ANDAMENTO										DEZEMBRO									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento										Dezembro									
Projeto: SPANOS / MONTELOS / OBRAS 15/08/2015 SA										Formas de Avaliação Geral do Projeto										Obras em Andamento																			


[illegible]

## Anexo 6. Características de expander

TUBO Ø EXTERIOR	EXPANDIDOR			ESPIGA		JUEGO DE RODILLOS N°
	MODELO	EXPAN. MINIMA	EXPAN. MAXIMA	N°	∅	
38,1 (1 1/2")	U-0381	31,8	35,7	701	1"	URR-100
	U-0382	32,1	36,1	702	1"	URR-100
	U-0383	32,5	36,7	702	1"	URR-103
	U-0384	33,3	37,3	702	1"	URR-106
44,4 (1 3/4")	U-0441	34,1	37,9	703	1"	URR-100
	U-0442	34,9	39,1	703	1"	URR-106
	U-0443	35,5	39,7	703	1"	URR-109
50,8 (2")	U-0511	36,5	40,1	704	1"	URR-103
	U-0512	38,1	42,5	704	1"	URR-115
	U-0513	39,7	44,5	704	1"	URR-125
	U-0514	41,3	46,1	705	1"	URR-125
	U-0515	42,5	47,3	705	1"	URR-131
57,1 (2 1/4")	U-0571	44,5	50,3	706	1"	URR-131
	U-0572	46,0	51,5	706	1"	URR-137
	U-0573	47,6	53,1	706	1"	URR-145
	U-0574	49,2	54,7	706	1"	URR-153
63,5 (2 1/2")	U-0631	50,8	56,5	707	1"	URR-153
	U-0632	52,4	58,1	707	1"	URR-161
	U-0633	54,0	59,7	707	1"	URR-169
76,2 (3")	U-0761	56,1	63,5	708	1"	URR-169
	U-0762	57,1	64,3	708	1"	URR-173
	U-0763	58,7	65,7	708	1"	URR-180
	U-0764	60,5	67,7	708	1"	URR-190
	U-0765	62,1	69,3	708	1"	URR-198
	U-0766	63,5	70,9	709	1"	URR-190
	U-0767	65,1	72,5	709	1"	URR-198
82,5 (3 1/4")	U-0831	66,7	73,9	709	1"	URR-205
	U-0832	68,3	75,5	709	1"	URR-213
	U-0833	70,0	77,1	709	1"	URR-221
	U-0834	71,5	78,9	709	1"	URR-230
	U-0835	73,1	80,3	709	1"	URR-237
88,9 (3 1/2")	U-0891	74,6	81,9	710	1"	URR-230
	U-0892	76,2	83,9	710	1"	URR-240
	U-0893	78,5	87,2	711	1"	URR-241
101,6 (4")	U-1021	79,5	88,2	711	1"	URR-245
	U-1022	81,5	90,2	711	1"	URR-255
	U-1023	83,6	92,4	711	1"	URR-266
	U-1024	85,5	94,2	711	1"	URR-275
	U-1025	87,5	96,2	711	1"	URR-285
	U-1026	89,5	98,2	711	1"	URR-295
114,3 (4 1/2")	U-1141	91,5	100,7	712	1"	URR-295
	U-1142	93,5	102,7	712	1"	URR-305
	U-1143	95,5	104,7	712	1"	URR-315

Fuente: Características de expansión.

## Anexo 7. Formato de control de calidad de expansión de tubería



**CONTROL DE END E INSPECCIÓN VISUAL**

NOMBRE DEL PROYECTO: \_\_\_\_\_

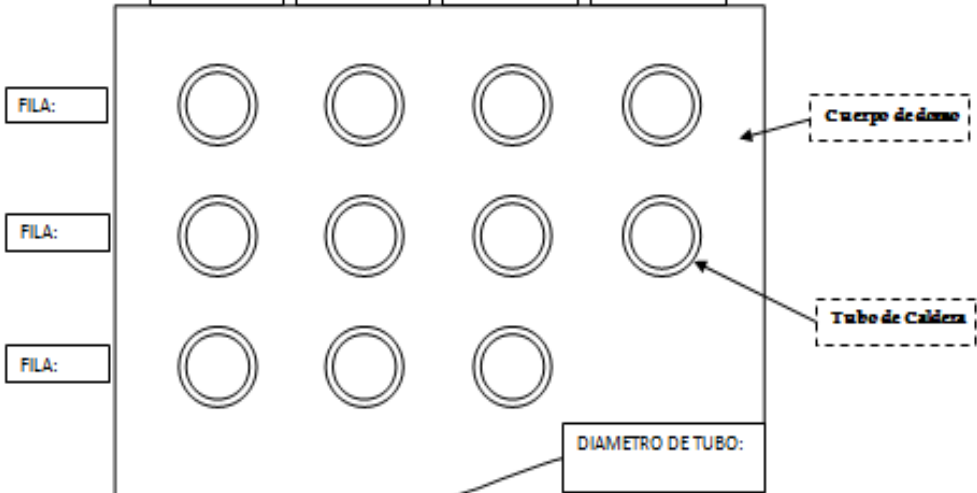
ENSAYO UTILIZADO: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_

CALDERA: \_\_\_\_\_

DOMO:	FILA:	COLUMNA:
-------	-------	----------

COLNA:	COLNA:	COLNA:	COLNA:
--------	--------	--------	--------



RESULTADO: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

INSPECTOR DE LA PRUEBA: \_\_\_\_\_

(NOMBRE)                      (FIRMA)

AUTORIZO: \_\_\_\_\_

(NOMBRE)                      (FIRMA)

Fuente: Formato de control de calidad de expansión de tubería.

## Anexo 8. Especificación del material base

### SPECIFICATION FOR PRESSURE VESSEL PLATES, CARBON STEEL, LOW- AND INTERMEDIATE-TENSILE STRENGTH



SA-285/SA-285M



[Identical with ASTM Specification A 285/A 285M-03(R07).]

#### 1. Scope

**1.1** This specification covers carbon steel plates of low- and intermediate-tensile strengths which may be made by killed, semi-killed, capped, or rimmed steel practices at the producer's option. These plates are intended for fusion-welded pressure vessels.

**1.2** Plates under this specification are available in three grades having different strength levels as follows:

Grade	Tensile Strength, ksi (MPa)
A	45–65 [310–450]
B	50–70 [345–485]
C	55–75 [380–515]

**1.3** The maximum thickness of plates under this specification, for reasons of internal soundness, is limited to a maximum thickness of 2 in. [50 mm] for all grades.

**NOTE 1**—For killed carbon steels only refer to the following ASTM specifications:

A 299/A 299M, Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, Manganese-Silicon  
A 515/A 515M Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Intermediate and Higher-Temperature Service  
A 516/A 516M Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Moderate and Lower-Temperature Service

**1.4** For plates produced from coil and furnished without heat treatment or with stress relieving only, the additional requirements, including additional testing requirements and the reporting of additional test results, of Specification A 20/A 20M apply.

**1.5** The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated

in each system are not exact equivalents; therefore, each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the specification.

#### 2. Referenced Documents

##### 2.1 ASTM Standard:

A 20/A 20M Specification for General Requirements for Steel Plates for Pressure Vessels

#### 3. General Requirements and Ordering Information

**3.1** Plates supplied to this product specification shall conform to Specification A 20/A 20M, which outlines the testing and retesting methods and procedures, permissible variations in dimensions and mass, quality and repair of defects, marking, loading, etc.

**3.2** Specification A 20/A 20M also establishes the rules for ordering information that should be complied with when purchasing plates to this specification.

**3.3** In addition to the basic requirements of this specification, certain supplementary requirements are available where additional control, testing, or examination is required to meet end use requirements.

**3.4** The purchaser is referred to the listed supplementary requirements in this specification and to the detailed requirements in Specification A 20/A 20M.

**3.5** Coils are excluded from qualification to this specification until they are processed into finished plate. Plates produced from coil means plates that have been cut to



## Continuación del anexo 8.

SA-285/SA-285M

2011a SECTION II, PART A

individual lengths from coil. The processor directly controls, or is responsible for, the operations involved in the processing of coils into finished plates. Such operations include decoiling, leveling, cutting to length, testing, inspection, conditioning, heat treatment (if applicable), packaging, marking, loading for shipment, and certification.

NOTE 2 — For plates produced from coil and furnished without heat treatment or with stress relieving only, three test results are reported for each qualifying coil. Additional requirements regarding plate produced from coil are described in Specification A 20/A 20M.

3.6 If the requirements of this specification are in conflict with the requirements of Specification A 20/A 20M, the requirements of this specification shall prevail.

### 4. Heat Treatment

4.1 Plates are normally supplied in the as-rolled condition. The plates may be ordered normalized or stress relieved, or both.

### 5. Chemical Composition

5.1 The steel shall conform to the requirements as to chemical composition as given in Table 1.

### 6. Mechanical Properties

6.1 *Tension Test* — The plates, as represented by the tension test specimens, shall conform to the requirements given in Table 2.

TABLE 1  
CHEMICAL REQUIREMENTS

Elements	Composition, %		
	Grade A	Grade B	Grade C
Carbon, max <sup>a</sup>	0.17	0.22	0.28
Manganese, max	0.90	0.90	0.90
Heat analysis	0.98	0.98	0.98
Product analysis	0.98	0.98	0.98
Phosphorus, max <sup>a</sup>	0.035	0.035	0.035
Sulfur, max <sup>a</sup>	0.035	0.035	0.035

<sup>a</sup> Applies to both heat and product analysis.

TABLE 2  
TENSILE REQUIREMENTS

	Grade A		Grade B		Grade C	
	ksi	[MPa]	ksi	[MPa]	ksi	[MPa]
Tensile strength	45–65	[310–450]	50–70	[345–485]	55–75	[380–515]
Yield strength, min <sup>a</sup>	24	[165]	27	[185]	30	[205]
Elongation in 8 in. or [200 mm], min, % <sup>a</sup>	27		25		23	
Elongation in 2 in. or [50 mm], min, % <sup>a</sup>	30		28		27	

<sup>a</sup> Determined by either the 0.2% offset method or the 0.5% extension-under-load method.

<sup>a</sup> See Specification A 20/A 20M for elongation adjustment.



Continuación del anexo 8.

2011a SECTION II, PART A

SA-285/SA-285M

### **SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS**

Supplementary requirements shall not apply unless specified in the order.

A list of standardized supplementary requirements for use at the option of the purchaser is included in Specification A 20/A 20M. Those that are considered suitable for use with this specification are listed below by title.

- S3. Simulated Post-Weld Heat Treatment of Mechanical Test Coupons.**
- S4. Additional Tension Test.**

463

Fuente: Especificación del material base.

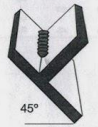
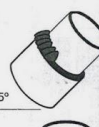


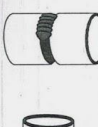

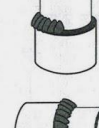




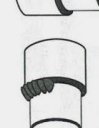
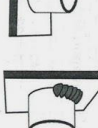
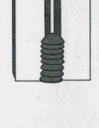


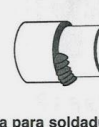
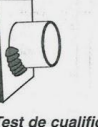

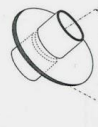
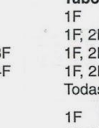
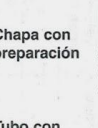
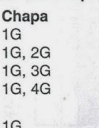
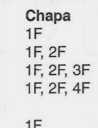
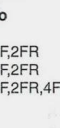
## Anexo 9. Agrupación de electrodos y varillas de soldadura para la calificación

QW-432 F-NUMBERS Grouping of Electrodes and Welding Rods for Qualification			
F-No.	ASME Specification	AWS Classification	UNS No.
Steel and Steel Alloys			
1	SFA-5.1	E00X20	...
1	SFA-5.1	E00X22	...
1	SFA-5.1	E00X24	...
1	SFA-5.1	E00X27	...
1	SFA-5.1	E00X28	...
1	SFA-5.4	E00X00-26	...
1	SFA-5.5	E00X20-X	...
1	SFA-5.5	E00X27-X	...
2	SFA-5.1	E00X12	...
2	SFA-5.1	E00X13	...
2	SFA-5.1	E00X14	...
2	SFA-5.1	E00X19	...
2	SFA-5.5	E00X013-X	...
3	SFA-5.1	E00X10	...
3	SFA-5.1	E00X11	...
3	SFA-5.5	E00X010-X	...
3	SFA-5.5	E00X011-X	...
4	SFA-5.1	E00X15	...
4	SFA-5.1	E00X16	...
4	SFA-5.1	E00X18	...
4	SFA-5.1	E00X18M	...
4	SFA-5.1	E00X48	...
4	SFA-5.4 other than austenitic and duplex	E00X00-15	...
4	SFA-5.4 other than austenitic and duplex	E00X00-16	...
4	SFA-5.4 other than austenitic and duplex	E00X00-17	...
4	SFA-5.5	E00X015-X	...
4	SFA-5.5	E00X016-X	...
4	SFA-5.5	E00X018-X	...
4	SFA-5.5	E00X018M	...
4	SFA-5.5	E00X018M1	...
4	SFA-5.5	E00X45	...
5	SFA-5.4 austenitic and duplex	E00X00-15	...
5	SFA-5.4 austenitic and duplex	E00X00-16	...
5	SFA-5.4 austenitic and duplex	E00X00-17	...
6	SFA-5.2	All classifications	...
6	SFA-5.9	All classifications	...
6	SFA-5.17	All classifications	...
6	SFA-5.18	All classifications	...
6	SFA-5.20	All classifications	...
6	SFA-5.22	All classifications	...
6	SFA-5.23	All classifications	...
6	SFA-5.25	All classifications	...
6	SFA-5.26	All classifications	...
6	SFA-5.28	All classifications	...
6	SFA-5.29	All classifications	...
6	SFA-5.30	INMs-X	...
6	SFA-5.30	IN5XX	...
6	SFA-5.30	IN3XX(X)	...

...

Fuente: Agrupación de electrodos.

## Anexo 10. Tipos de posiciones de soldadura y su clasificación

																			
																			
																			
																			
																			
<b>Test de cualificación</b> <b>Chapas en rincón</b> 1F 2F 3F 4F 3F+4F				<b>Cualifica para soldaduras en rincón</b> <b>Chapa</b> 1F 1F, 2F 1F, 2F, 3F 1F, 2F, 4F Todas <b>Tubo</b> 1F 1F, 2F, 2FR 1F, 2F, 2FR, 4F Todas				<b>Test de cualificación</b> <b>Chapa con preparación</b> 1G 2G 3G 4G <b>Tubo con preparación</b> 1G 2G 5G 6G+6GR 2G+5G				<b>Cualifica para:</b> <b>soldadura con preparación de chafalán</b> <b>Chapa</b> 1G 1G, 2G 1G, 3G 1G, 4G <b>Tubo</b> 1G 1G, 2G 1G, 3G, 4G Todas Todas				<b>soldaduras en rincón</b> <b>Chapa</b> 1F 1F, 2F 1F, 2F, 3F 1F, 2F, 4F <b>Tubo</b> 1F 1F, 2F 1F, 2F, 2FR 1F, 2F, 2FR, 4F Todas Todas			

Fuente: Posiciones de soldadura.

### Anexo 11. Características eléctricas

Pase de soldadura	proceso	METAL DE APORTE		CORRIENTE		Rango de voltaje	Rango de velocidad de avance	OTROS
		Clase	Diámetro	Tipo de polaridad	Rango de amperaje			
No. 1	GMAW	ER-90S-D2	0.045"	DC (+)	143 a 200	19 a 21	5 a 8 in/min	Pase de raíz
No.2	SMAW	E-9018M	1/8"	DC (+)	100 a 140	22 a 25	4 a 8 in/min	Pase de relleno
No.3	SMAW	E-9018M	1/8"	DC (+)	100 a 140	22 a 25	4 a 8 in/min	Pase de relleno
....	....	...	....	....	....	....	....	
....	....	...	....	....	....	....	....	
....	....	...	....	....	....	....	....	
NO. "N"	SMAW	E-9018M	1/8"	DC (+)	100 a 140	22 a 25	4 a 8 in/min	Pase de presentación

Fuente: Características eléctricas.

## Anexo 12. Procedimiento de soldadura del fabricante

**QW-482 SUGGESTED FORMAT FOR WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)**  
(See QW-201.1, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)

---

Company Name Castine Energy Construction, Inc. By: James Slatts  
Welding Procedure Specification No. P1 - P1A - 1.5 Date: 01/08/2010 Supporting PQR No.(s) P1 - P1A - 1.5  
Revision No. 0 Date \_\_\_\_\_  
Welding Process(es) GTAW / SMAW Type (s) Manual  
(Automatic, Manual, Machine or Semi Automatic)

---

**JOINTS (QW-402)**  
Joint Design See permitted figures (right) or per constr. dwg  
Root Spacing 5/32" +/- 1/32" or as permitted per figure  
Backing (Yes) No (No) No Yes \_\_\_\_\_  
Backing Material (Type) Weld Metal only or base  
(refer to both backing and retainers)  
☒ Metal ☐ Nonmetallic ☐ Nonfusing Metal ☐ Other \_\_\_\_\_

FIG A (BUTT JOINT) FIG B (CORNER JOINT) FIG C (EDGE JOINT)  
FIG D (LAP JOINT) FIG E (TEE JOINT)

Sketches, Production Drawings, Weld Symbols or Written Description should show the general arrangement of the parts to be welded. Where applicable, the root spacing and the details of weld groove may be specified.  
[At the option of the manufacturer, sketches may be attached to illustrate joint design, weld layers and bead sequence (e.g., for notch toughness procedures, for multiple process procedures etc.)]

☐ Other (Describe) \_\_\_\_\_  
☒ Figure A ☐ Figure B ☐ Figure C ☐ Figure D ☐ Figure E

---

**\*BASE METALS (QW-403)**  
P-No. 1 Group No. 1 & 2 to P-No. 1 Group No. 1 & 2  
OR  
Specification type/grade or UNS number \_\_\_\_\_  
to Specification type/grade or UNS number \_\_\_\_\_  
OR  
Chem. Analysis and Mech. Prop. \_\_\_\_\_  
to Chem. Analysis and Mech. Prop. \_\_\_\_\_  
Thickness Range:  
Base Metal: Groove 0.1875" - 8" Fillet All  
Other \_\_\_\_\_

Maximum Pass Thickness <= 1/2 inch (13 mm) (Yes) ☐ (No) ☒

---

**\*FILLER METALS (QW-404)**

Spec. No. (SFA)	GTAW 5.18	SMAW 5.1		
AWS No. (Class)	ER70S-2	7018		
F-No.	6	4		
A-No.	1	1		
Size of Filler Metals	1/16" - 1/8"	3/32" - 5/32"		
Filler Metal Product Form				
Supplemental Filler Metal				
Weld Metal				
Thickness Range:				
Groove	up to 0.5"	up to 8.00"		
Fillet	All	All		
Electrode-Flux (Class)	N/A	N/A		
Flux Trade Name	N/A	N/A		
Consumable Insert	N/A	N/A		
Other				

\*Each base metal-filler metal combination should be recorded individually.

Continuación del anexo12.

[illegible]

Fuente: Procedimiento de soldadura del fabricante.

### Anexo 13. Calificación del procedimiento de soldadura del fabricante

QW-483 SUGGESTED FORMAT FOR PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS (PQR)				
(See QW-200.2, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)				
Record Actual Conditions Used to Weld Test Coupon				
Company Name		Castine Energy Construction, Inc.		
Procedure Qualification Record No.	P1 - P1A - 1.5	Date	03/12/2010	
WPS No.		P1 - P1A - 1.5		
Welding Process (es)		GTAW / SMAW		
Types (Manual, Automatic, Semi-Automatic)		Manual		
<b>JOINTS (QW-402)</b>				
Groove Design of Test Coupon (sketch, figure or reference)				
(For combination qualifications, the deposited weld metal thickness shall be recorded for each filler metal and process used.)				
<b>BASE METALS (QW-403)</b>				
Material Specification	SA-516			
Type or Grade or UNS Number	70			
P No. 1 Group No.	to P No. 1	Group No.		
Thickness of Test Coupon	1.5"			
Diameter of Test Coupon	N/A			
Maximum Pass Thickness	less than 1/2" thick			
Other				
<b>POST WELD HEAT TREATMENT (QW-407)</b>				
Temperature	None			
Time	None			
Other				
<b>GAS (QW-408)</b>				
	Percent Composition			
Shielding	Gas (es)	(Mixture)	Flow Rate	
	Argon	Welding grade	18-22 cfm	
Trailing	None	None	None	
Backing	None	None	None	
Other				
<b>FILLER METALS (QW-404)</b>				
Layer (combination welds)	1	2	3	
SFA Specification	5.18	5.1		
AWS Classification	ER70S-2	E7018		
Filler Metal F No.	6	4		
Weld Metal Analysis A No.	1			
Size of Filler Metal	1/8"	1/8"		
Filler Metal Product Form	Wire	Rod		
Supplemental Filler Metal				
Electrode Flux Classification				
Flux Type	not used			
Flux Trade Name				
Weld Metal Thickness	0.250"	1.250"		
Other				
<b>ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)</b>				
Current	DC			
Polarity	Straight/Reverse			
Amps	140 / 88	Volts	20 / 29	
Tungsten Electrode Size	3/32"			
Transfer Mode for GMAW (FCAW)				
Other				
<b>POSITION (QW-405)</b>				
Position of Groove	1G			
Weld Progression (Uphill, Downhill)	N/A			
Other				
<b>PREHEAT (QW-406)</b>				
Preheat Temperature	300 F			
Interpass Temperature	as welded			
Other				
<b>TECHNIQUE (QW-410)</b>				
Travel Speed	6-10 ipm / 4-8 ipm			
String or Weave Bead	Weave			
Oscillation				
Multipass or Singles Pass (per side)	Multiple			
Single or Multiple Electrodes	Multiple			
Other				



Continuación del anexo 13.

**QW-483 (Back)**

PQR No. PI - PIA - 1.5

**Tensile Test (QW-150)**

Specimen Number	Width	Thickness	Area	Ultimate Total Load	Ultimate Unit Stress (psi or MPa)	Type of Failure & Location
1	0.756"	1.502"	1.136 in <sup>2</sup>	85,250	75,044 psi	Break/BM
2	0.760"	1.428"	1.085 in <sup>2</sup>	84,650	78,018 psi	Break/BM

**Guided Bend Tests (QW-160)**

Type and Figure No.	Result
(4) Side QW-462.2	Acceptable

**Toughness Tests (QW-170)**

Specimen Number	Notch Location	Specimen Size	Test Temperature	Impact Values			Drop Weight Break (Yes/No)
				Ft-lb or J	% Shear	Mils (in.) or mm	

Comments \_\_\_\_\_

**Fillet Weld Test (QW-180)**

Result- Satisfactory: Yes \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_ Penetration into Parent Metal: Yes \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

Macro - Results \_\_\_\_\_

**Other Tests**

Type of Test \_\_\_\_\_ VT, PT, RT Acceptable

Deposit Analysis \_\_\_\_\_ N/A

Other \_\_\_\_\_

---

Welders Name James Dennis Clock No. - Stamp No. 9966

Tests Conducted by Gale Mole - Soil Consultants, Inc Laboratory Test Number NDT-10-0187

We certify that statements made in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in accordance with the Requirements of Section IX of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code

Manufacturer or Contractor Castine Energy Construction, Inc.

Date 3/12/2010 Certified By James Starns

(Detail of record of tests are illustrative only and may be modified to conform to the type and number of tests required by the code.)

Fuente: Calificación del procedimiento de soldadura del fabricante.



## Anexo 14. Certificado de soldador



TIPO DE SOLDADOR		Tubería Calderas		No. Cedula o DPI	2271175651020
NOMBRE:		Saúl Escobar Girón		IDENTIFICACION No. 01	
ESPECIFICACION SOLDADURA	DE	PROCEDIMIENTO	DE	REV. No:	FECHA: 10-07-13
			PSMI-PALMAS B-SMAW 01-13	00	
VARIABLES		REGISTRO DE VALORES REALES USADOS DURANTE LA PRUEBA		RANGO DE CALIFICACION	
TIPO DE PROCESO		SMAW		SMAW	
Electrodo (Simple o múltiple)		SIMPLE		SIMPLE	
Corriente/Polaridad		D.C	E. P.	D.C. / E.P.	
Posición		3G, 4G		1G, 3G, 4G, 1F, 2F, 3F, 4F	
Dirección de soldadura		Ascendente		Ascendente	
Respaldo (Si o NO)		NO		NO	
Especificación de Material Base		ASTM A-36 (P No. 01)		ASTM A-36 & ASTM A299 (P No. 01)	
Espesor: (platina)		3"		3" a 6"	
Ranura Filete					
Espesor: (tubo)		N. A.		N. A.	
Diámetro: (tubo)		N. A.		N. A.	
Ranura Filete					
Metal de Aporte Especificación. No. Clase F-No.		SFA 5.1 E-7018 4		SFA 5.1 E-7018 4	
Gas/Flux Tipo		N. A.		N. A.	
Otros		Se califica en placa		Califica para soldar en tubería Diámetro < 24" en posición 1G	

INSPECCION VISUAL			
Aceptable Si o No: <u>SI</u>			
Resultados de Pruebas de MACROATAQUE			
CUPON No.	Resultados	CUPON No.	Resultados
*****	*****	*****	*****
*****	*****	*****	*****
Inspeccionado por: Ing. Alvaro Ixpata		Prueba No. : N.A.	
Organización: TESTING		Fecha: 11/07/2013	

Resultado Pruebas Mecánicas					
Identificación	Tipo	Resultado	Identificación	Tipo	Resultado
3G-01-01	Dobleces lateral	OK	4G-01-01	Dobleces lateral	OK
3G-01-02	Dobleces lateral	OK	4G-01-02	Dobleces lateral	OK

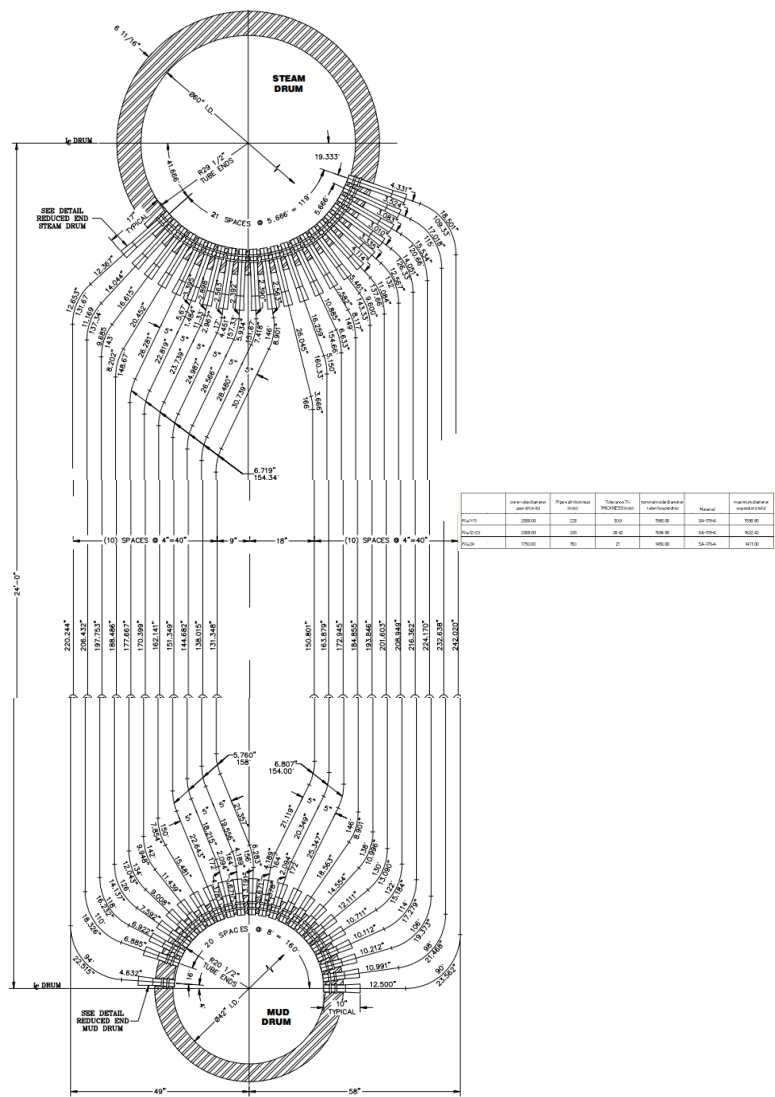
Interpretado por: Ing. Alvaro Ixpata	Reporte No. TESTING DOBLEZ 36-13
Organización: TESTING	Fecha: 11/07/2013

Nosotros, los abajo firmantes, certificamos que todo lo indicado y registrado es correcto y que todas las pruebas de soldadura han sido preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo con los requerimientos de la Sección IX, del Código ASME Edición 2010.

Fabricante o Contratista:	PSMI S.A.
Certificado Por:	Ing. Enrique Gálvez

Fuente: archivo TESTING S. A.

Anexo 15.    Diseño de caldera



Fuente: archivo TESTING S. A.